

**ESTUDIO TECNICO Y FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACION DE
SISTEMAS SOLARES DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LAS ZONAS COMUNES
DE CONJUNTOS RESIDENCIALES**

GLORIA LILIANA OSSA OSSA

**Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Tecnologías
Escuela de Tecnología Mecánica
PEREIRA
2016**

**ESTUDIO TECNICO Y FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACION DE
SISTEMAS SOLARES DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LAS ZONAS COMUNES
DE CONJUNTOS RESIDENCIALES**

GLORIA LILIANA OSSA OSSA

TRABAJO DE GRADO

PhD. EDGAR SALAZAR

**Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Tecnologías
Escuela de Tecnología Mecánica
PEREIRA
2016**

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	7
1. DEFINICION DEL PROBLEMA	9
1.1 PLANTEAMIENTO	9
1.2 FORMULACION	10
1.3 SISTEMATIZACION	10
2. JUSTIFICACION	11
3. OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVO GENERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
4. MARCO REFERENCIAL (HISTORICO, CONTEXTUAL, TEORICO-CONCEPTUAL)	14
4.1 MARCO HISTORICO	14
4.1.1. ANTECEDENTES	17
4.2. MARCO CONTEXTUAL	19
4.3. MARCO TEORICO-CONCEPTUAL	19
4.3.1. ENERGIAS	19
4.3.1.1. DEMANDA ENERGETICA	20
4.3.1.1.1. Demanda Energética en el Mundo	20
4.3.1.1.2. Demanda Energética en Colombia	21
4.3.1.2. PROBLEMAS AMBIENTALES	22
4.3.1.2.1. Principales causas a nivel global	23
4.3.1.2.2. Principales ambientales en Colombia	23
4.3.1.2.3. Efecto invernadero	23
4.3.1.2.3. Efecto de los contaminantes sobre la salud	24
4.3.1.2.4.5. Efectos sobre los ecosistemas	25
4.3.2. ENERGIAS NO CONVENCIONALES	25
4.3.2.1. Energía Solar	26
4.3.2.1.1. Fotovoltaica	26
4.3.2.1.2. Térmica	26
4.3.2.2. Eólica	26
4.3.2.3. Biomasa	27
4.3.2.4. Hidráulica	27
4.3.2.5. Geotérmica	28
4.3.2.6. Mareomotriz	28
4.3.2.7. Undimotriz	29
4.3.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	29

4.3.3.1.	Radiación Solar	29
4.3.3.2.	Irradiancia e Irradiación sobre superficies	31
4.3.3.3.	La Radiación Solar en Colombia	31
4.3.3.4.	Atlas de Radiación Solar en Colombia	32
4.4.4.	PECTO SOLAR FOTOVOLTAICO (EFV)	32
4.4.4.1.	Células Fotovoltaicas	33
4.4.4.1.1.	Composición de una celda fotovoltaica	33
4.4.4.1.2.	Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas	34
4.4.4.1.3.	Eficiencia de una celda fotovoltaica	35
4.4.4.1.4.	Tipos de células fotovoltaicas	35
4.4.5.	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	39
4.4.5.1.	TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	40
4.4.5.1.1.	Sistemas aislados de la red (Off Grid)	40
4.4.5.1.2.	Sistemas conectados a la red (On Grid)	40
4.4.5.1.3.	Sistema fotovoltaico híbrido	41
4.4.5.1.4.	Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos	41
4.4.6.	ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	42
4.4.6.1.	GENERADOR FOTOVOLTAICO	42
4.4.6.2.	BATERIAS O ACUMULADORES	44
4.4.6.2.1.	Tipos de Baterías	46
4.4.6.2.2.	Parámetros de Funcionamiento de una Batería	49
4.4.6.2.3.	Rendimiento de las Baterías	50
4.4.6.3.	REGULADOR DE CARGA	51
4.4.6.3.1.	Funciones de un regulador	52
4.4.6.3.2.	Datos Específicos de un Regulador	53
4.4.6.3.3.	Regulador Serie y Paralelo	53
4.4.6.4.	INVERSOR	56
4.4.6.4.1.	Clasificación de los inversores	56
4.4.6.4.2.	Configuración de los Inversores	58
4.4.6.4.3.	Rendimiento	59
5.	ESTUDIO FINANCIERO	60
5.1.	EVALUACION DE PROYECTOS DE INVERSION	60
5.1.1.	CRITERIOS DE EVALUACION DE PROYECTOS	60
5.1.1.1.	Ingresos del Proyecto	61
5.1.1.2.	Inversión en el Proyecto	61
5.1.1.3.	Gastos de Operación	61
5.2.	INDICADORES A UTILIZAR	61
5.2.1.	TIO (Tasa Interna de Oportunidad)	61
5.2.2.	VPN (Valor Presente Neto)	62
5.2.3.	TIR (Tasa Interna de Retorno)	62

5.2.4.	Tasa Costo/Beneficio	63
5.2.5.	Pay Out (Tiempo en el que se recupera la inversión)	63
5.2.6.	Dividendos	63
5.2.7.	Beneficio Neto	64
5.2.8.	WACC (Costo Capital)	64
5.2.9	Flujo de Caja Libre (FCL)	65
5.2.10	Flujo de Caja Propietario (FCP)	67
5.2.11.	EBITDA (Earnings Before Interests, Taxes. Depreciation and Amotizatioes)	67
5.2.11.1.	¿Qué es el margen de EBITDA?	69
5.2.12.	EVA (Indice de Rentabilidad Real)	69
6.	NORMATIVIDAD	72
6.1.	CODIGO ELECTRICO COLOMBIANO NTC 2050	72
6.2.	REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS RETIE	73
6.3.	NORMA TECNICA UNIVERSAL PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMESTICOS	74
6.3.1	REQUISITOS DEL SISTEMAS FOTOVOLTAICO SEGÚN LA NORMA TECNICA UNIVERSAL	75
6.3.1.1	Generador Fotovoltaico	75
6.3.1.2	Estructuras de Soporte	76
6.3.1.3	Batería	76
6.3.1.4.	Regulador de Carga	77
6.3.1.5.	El Cableado	79
6.3.1.6.	Seguridad y Fiabilidad	80
6.4.	DISPOSICIONES DE LA CREG PARA AUTOGENERADORES INSTITUCIONES QUE BRINDAN APOYO Y FINANCIAMIENTO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIAS RENOVABLES FNCR	81
7.	RELACION DEL COSTO DE LA ENERGIA HIDROELECTRICA VERSUS LA ENERGIA SOLAR	84
8.	COSTOS ENERGIA HIDROELECTRICA	97
8.1.	COSTOS ENERGIA FOTOVOLTAICA	102
8.2.	FUENTES EICIENTES DE ALUMBRADO PUBLICO	103
9.	ESTUDIO TECNICO	106
10.	LUGAR O SITIO DE UBICACIÓN	108
10.1.	Determinación de la Radiación	108
10.1.1.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	110
10.2.	Dimensionamiento de los Paneles Solares	110
10.2.1.	Inclinación y Orientación de los Paneles Solares	110
10.2.1.1.	Numero de Paneles Solares	111
10.2.1.2.	Distancia entre Paneles	112

10.2.1.4	Estructura de soporte y anclaje	112
10.2.2.	Capacidad de la Batería	113
10.2.2.1.	Diseño del Banco de Baterías	114
10.2.3.	Regulador de Carga	114
10.2.4.	Calculo para el Inversor	115
10.3.	DISEÑO DEÑ SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LOS CONJUNTOS RESIDENCIALES ESCOGIDOS	116
10.3.1.	OPCIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA	116
10.3.2.	METODOLOGIA DE DISEÑO DEL SISTEMA	116
10.3.2.1.	Análisis Energético	117
10.3.2.2.	Cantidad de Paneles Definitivos	118
10.3.2.3.	Banco de Baterías	119
10.3.2.4.	Regulador de Carga	120
10.3.2.5.	Inversor	120
11.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONJUNTOS RESIDENCIALES	121
11.1.	CONJUNTO RESIDENCIAL SANTA CLARA DE LAS VILLAS	121
11.1.1.	Conjunto Residencial Santa Clara de las Villas (LED)	126
11.2.	CONJUNTO RESIDENCIAL CAMINOS DE CANAAN	130
12.2.1.	Conjunto Residencial Caminos de Canaan (LED)	134
12.3.	CONJUNTO RESIDENCIAL PORTAL DEL SOL	137
12.3.1.	Conjunto Residencial Portal del Sol (LED)	141
12.	ANALISIS FINANCIERO	146
12.1	INVERSIONES DEL PROYECTO	146
12.1.1.	Inversión Inicial	146
12.1.2.	Paneles Solares y Baterías	146
12.1.3.	Regulador de Carga	146
12.1.4.	Inversor	147
12.1.5.	Instalación y Otros	147
12.1.6.	Precio Unitario de la Inversión Inicial	147
12.1.7.	Inversiones durante la Marcha	147
12.2.	INGRESOS	147
12.2.1.	Precio de la Energía	147
12.2.2.	Evaluación de la Inversión	148
11.2.3.	Indicadores	149
13.	CONCLUSIONES	152
14.	BIBLIOGRAFIA	153

INTRODUCCIÓN

La energía como definición se asocia con la capacidad de ejecutar un trabajo. En este proyecto, la energía se va a estudiar como un recurso natural renovable con el propósito de ser transformada y convertida en una fuente inagotable de bienestar para la sociedad.

Las fuentes de energía son recursos naturales renovables y no renovables para las cuales se han desarrollado diferentes tecnologías para su explotación. Esta explotación de las energías la convierten en un bien de consumo necesario para el desarrollo social de la humanidad y el mundo moderno. Este bien de consumo basado en recursos no renovables y/o recursos costosos tanto económica como ambientalmente hace que la energía cada vez sea más difícil de conseguir y su valor cada vez sea mayor. Es ahí donde el hombre en su necesidad de encontrar nuevas fuentes de energía, ha desarrollado la energía solar fotovoltaica como una alternativa viable para el aprovechamiento de una fuente inagotable de energía como es el sol.

Durante los últimos 30 años la energía solar ha venido evolucionando a grandes pasos, y es por eso que en este momento histórico, la energía solar fotovoltaica se convierte en una alternativa viable tanto económica como ambientalmente en algunas aplicaciones específicas como lo es la naturaleza de este proyecto.

En los últimos años la producción de energía a través de paneles solares ha aumentado debido a su gran ventaja como es la reducción en el costo de energía, y a su vez el costo de estos paneles ha bajado por la demanda que tienen para suplir las necesidades de energía tanto en las ciudades como en los sitios donde la red eléctrica no puede llegar.

Colombia tiene un gran potencial energético solar debido a su posición geográfica, zona de trópico, entre las ventajas de la energía solar se tiene que es una fuente inagotable y gratuita de energía, es un sistema limpio, silencioso y amigable con el medio ambiente ya que no produce emisiones ni gases nocivos, ni erosiones, además, no hay pérdidas de transmisión porque la energía se obtiene en el sitio de consumo.

El propósito de este trabajo es hacer un estudio técnico y financiero para la utilización de paneles solares en la iluminación de alumbrado público en las zonas comunes de los conjuntos residenciales para suplir parte de las necesidades energéticas y reducir costos en el consumo de energía.

Este trabajo esta soportado en los resultados obtenidos en tres conjuntos residenciales de diferente estrato en los cuales se hará el cálculo para implementar un sistema de energía solar para las zonas comunes, además, de acuerdo a estos resultados se hará un comparativo de costos y de viabilidad para futuros proyectos.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO

Este trabajo pretende encontrar alternativas de generación eléctrica renovable, que permitan mitigar los altos costos de alumbrado público que se tiene en los conjuntos residenciales debido a la utilización de fuentes de iluminación con bajo índice de eficiencia lumínica o relación lumen-watts y el alto costo de la energía eléctrica.

Las fuentes luminosas de alumbrado público han cambiado considerablemente en los últimos años. Se ha pasado de fuentes luminosas con bajas eficiencias lumínicas desde 10 lúmenes por vatio (lm/W) y bajos índices cromáticos, basadas en incandescentes, halógenos, arcos de mercurio, haluros metálicos, sodios de alta y baja presión, con eficiencias luminosas desde 10 lúmenes por vatio (lm/w), hasta llegar a LEDS de muy alta eficiencia lumínica hasta 150 lm/W e índices cromáticos por encima del 80%.

Los altos costos de la energía eléctrica dependen directamente de las grandes empresas multinacionales productoras y comercializadoras de energía, estos costos dependen de factores ambientales, de oferta y demanda y de regulación nacional.

Teniendo en cuenta los altos costos financieros que se generan en los conjuntos residenciales para mantener iluminadas sus áreas comunes, se pretende realizar un estudio técnico y financiero que determine la posibilidad de utilizar paneles solares en las zonas comunes de los conjuntos residenciales con la finalidad de suplir parte de las necesidades energéticas y reducir costos en el consumo de energía.

Se espera con este trabajo abrir las posibilidades a proyectos donde se vea la importancia de utilizar diferentes alternativas energéticas, que permitan la posibilidad de bajar los costos financieros y ambientales en el consumo de la energía tradicional, generando conciencia y hábito de consumo energético que repercuta en un impacto ambiental necesario para el planeta de futuras generaciones.

1.2. FORMULACIÓN

¿Es factible económica y técnicamente la implementación de un sistema de alumbrado público en las zonas comunes de conjuntos residenciales basado en el aprovechamiento de la energía solar y las fuentes luminosas modernas de alta eficiencia lumínica (relación lumen/watts)?

1.3. SISTEMATIZACIÓN

- ¿Qué nichos de mercado específicos están interesados en sistemas fotovoltaicos como solución a sus necesidades energéticas?
- ¿Cuáles son las fuentes de alumbrado público más eficientes?
- ¿Cuál es la radiación solar en la zona del eje cafetero?
- ¿Cuáles son las características y costos de los equipos necesarios para el sistema solar fotovoltaico?
- ¿Qué presupuesto se necesita para el desarrollo del proyecto y que instituciones brindan apoyo y financiamiento para este tipo de instalaciones?
- ¿Cuál es el costo de la energía hidráulica versus la energía solar?
- ¿Cuál es el flujo de caja y el retorno de inversión del sistema?
- ¿Cuál es el VPN en una proyección a 3, 5 y 10 años?

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente el planeta pasa por una gran crisis climática que repercute en los temas de la obtención de la energía, debido a que los combustibles fósiles que son los principales recursos energéticos, como el carbón, el gas, el petróleo comienzan a agotarse, (recursos NO renovables), en nuestro país un 33% de la energía eléctrica es obtenida por medio de la generación térmica y un 64% es obtenida por la generación de energía hidráulica (producida con agua) que aún es un recurso renovable¹, sin embargo, podría decirse que con el tiempo tiende a convertirse en la materia terrestre más escasa y buscada para el hombre, todo esto debido a la contaminación que ocasiona el ser humano.

Es por esta razón que hay un gran interés en las fuentes de energía **renovables** como la energía solar (producida por el sol), la energía eólica (producida por el viento), la energía mareomotriz (producida por el mar) y la energía geotérmica (producida por el calor interno de la tierra), las cuales son amigables con el medio ambiente.

Con este trabajo se quiere mostrar la importancia de implementar sistemas de alumbrado público basados en fuentes de energía solar en las zonas comunes de los conjuntos residenciales con el propósito de bajar los costos en el consumo de energía utilizando fuentes de energía renovable.

Colombia tiene un gran potencial energético solar debido a que está ubicada en la zona tórrida, o de bajas latitudes en los 2 hemisferios atravesada por el Ecuador. En consecuencia, su clima es tropical, no tiene las 4 estaciones térmicas, tan sólo se suceden épocas de veranos prolongados y otras de invierno en que llueve con mayor frecuencia; nuestros días y noches son casi de igual duración.

Entre las ventajas de la energía solar se tiene que es una fuente inagotable y gratuita de energía, es un sistema limpio, silencioso y amigable con el medio ambiente ya que no produce emisiones ni gases nocivos, la energía se obtiene y se almacena en el mismo sitio de consumo.

En los últimos años la producción de energía a través de paneles solares ha aumentado debido a su gran ventaja como es la reducción en el costo de energía, y a su vez el costo de estos paneles ha bajado por la demanda que tienen para suplir las necesidades de energía tanto en las ciudades como en los sitios donde la red eléctrica no puede llegar.

¹http://es.wikipedia.org/wiki/Sector_el%C3%A9ctrico_en_Colombia

Por su gran cantidad de ríos, la principal fuente de energía en Colombia proviene de las hidroeléctricas y en segundo lugar de la energía térmica generada a través de fuentes de gas, **ambos recursos no renovables**. Sin embargo, por diferentes factores climáticos y ambientales, todos estos recursos disminuyen considerablemente. Colombia requiere necesariamente una política decidida en el estímulo a las fuentes renovables de energía, ya que el país no puede depender de una matriz energética basada fundamentalmente en el agua, al ser un recurso tan vulnerable a los cambios climáticos y la contaminación.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Hacer un estudio técnico y financiero para mostrar la viabilidad de la implementación de un sistema de alumbrado público en las zonas comunes de conjuntos residenciales basado en el aprovechamiento de la energía solar y las fuentes luminosas modernas de alta eficiencia lumínica (relación lumen/watts).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Elegir los conjuntos residenciales donde se va a desarrollar el proyecto.
- ❖ Consultar sobre fuentes eficientes de alumbrado público, niveles promedio de radiación solar en la zona del eje cafetero y características y costos de los equipos que se van a utilizar en el sistema fotovoltaico.
- ❖ Diseñar el sistema fotovoltaico de generación eléctrica para las zonas comunes de los conjuntos residenciales elegidos.
- ❖ Estimar el presupuesto necesario para la construcción del proyecto e investigar sobre las instituciones que brindan apoyo y financiamiento para este tipo de instalaciones como Bancoldex y Findeter y otros.
- ❖ Establecer la relación del costo de la energía hidráulica versus la energía solar.
- ❖ Establecer el flujo de caja y el retorno de inversión del sistema
- ❖ Determinar el Valor Presente Neto (VPN) en una proyección a 3, 5 y 10 años.

4. MARCO DE REFERENCIA (HISTORICO, CONTEXTUAL, TEORICO-CONCEPTUAL)

4.1. MARCO HISTÓRICO

El efecto fotovoltaico fue descubierto por el francés Alexandre Edmond Becquerel en 1838 cuando tenía sólo 19 años.

* Alexandre Edmund Becquerel, físico francés (París 1820 - París 1891), miembro de una familia de científicos de cuatro generaciones, su padre Antoine César colaboró con Ampere y Biot en el estudio de la electricidad, su hijo Antoine Henri fue premio Nobel de Física junto al matrimonio Curie por el descubrimiento de la radioactividad natural; y sus nietos, Jean que realizó importantes descubrimientos en el campo de la cristalografía y Paul biólogo que estudió los efectos de las bajas temperaturas en los seres vivos.

** Descubrimiento del efecto fotovoltaico. **Alexandre Edmon Becquerel**, a sus 19 años experimentando con una pila electrolítica con electrodos de platino sumergida en una sustancia de las mismas propiedades, observo que después al exponerla a la luz generaba más electricidad según se indica en "Recherches sur les effects de la radiation chimique de la lumiere solaire aumoyen des courant electriques" ("La investigación sobre los efectos de la radiación química de la luz solar mediante corriente eléctrica") que se encuentra en la Academia de Ciencias.

El siguiente paso se dio en 1873 cuando el ingeniero eléctrico inglés Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos. En este caso sobre el Selenio.

Más tarde, en 1877, El inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, junto con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera célula fotovoltaica de selenio. Si bien en todos estos descubrimientos la cantidad de electricidad que se obtenía era muy reducida y quedaba descartada cualquier aplicación práctica, se demostraba la posibilidad de transformar la luz solar en electricidad por medio de elementos sólidos sin partes móviles.

Por el año de 1883 a manos del inventor norteamericano Charles Fritts, quien construyo una celda solar con una eficiencia del 1%. Inicialmente fue utilizado el Selenio como conductor de energía, pero esta tecnología avanzó y en 1946 fue patentada la utilización de la celda de Silicio por el también norteamericano Russelle Ohl.

En 1904 Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico y al mismo tiempo sobre la teoría de la relatividad. En 1921 recibe el premio nobel por sus teorías explicando el efecto fotovoltaico.

En el año 1954 los investigadores de los Laboratorios Bell, D.M. Chaplin, C.S. Fuller y G.L. Pearson en Murray Hill, New Jersey, producen la primera célula de silicio, publican el artículo “A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power”, y hacen su presentación oficial en Washington.

En 1955 Hoffman Electronic, empresa de Illinois(EE.UU.) se encarga de producir elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales ofreciendo células de 14mW con un rendimiento del 3% a 1500 \$/Wp. Dos años después esta empresa ofrece células solares con un rendimiento del 8%.

La primera utilización práctica de la generación de energía con celdas fotovoltaicas fue en los dos primeros satélites geoestacionarios de URSS y USA en 1957 y 1958 respectivamente. La primera nave espacial Norteamericana que utilizo dispositivo de captación de luz solar fue la Explorer 1, los resultados positivos de ésta misión, generaron un acontecimiento de gran importancia que motivo al desarrollo de tecnologías con paneles más eficientes; siendo entonces el sector aeroespacial el primer mercado de paneles solares.

Para el 17 de marzo del año 1958 se lanza el Vanguard I, primer satélite alimentado con células fotovoltaicas. El satélite lleva 0,1W en una superficie aproximada de 100 cm², para alimentar un transmisor de 5mW, esta configuración estuvo operando por 5 años.

En 1959 Hoffman Electronics alcanza el 10 % de rendimiento en sus células comerciales.

INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS EN SATÉLITES ESPACIALES

AÑO	PROYECTO ESPACIAL	POTENCIA DE SU INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
1958	Vanguard I	0,1 W
1962	Telstar	14 W
1964	Nimbu	470 W
1966	Observatorio Astronómico Espacial	1 KW
1973	Skylab	20 KW

En 1963 Sharp consigue una forma práctica de producir módulos de silicio; en Japón se instala un sistema de 242W en un faro, el más grande en aquellos tiempos.

La necesidad latente que aún en la actualidad es prioritaria, es la búsqueda de paneles solares más eficientes, ésta tecnología tubo un avance significativo en 1970 con la primera célula solar con heteroestructura de arseniuro de galio (GaAs) altamente eficiente; se desarrolló en la Unión Soviética por Zhore Alferov.²

Para el año 1975 Las aplicaciones terrestres superan las aplicaciones espaciales.

En 1977 La producción de paneles solares fotovoltaicos en el mundo era de 500 kW.

En 1980 ARCO Solar es la primera empresa que alcanzó, una fabricación industrial de 1 MW de módulos al año.

1983 La producción mundial excede los 20 MW al año.

1994 Se celebra la primera Conferencia Mundial fotovoltaica en Hawái

1998 Se alcanza un total de 1.000 MWp de sistemas fotovoltaicos instalados.

2004 Se producen más de 1.000 MW de módulos fotovoltaicas ese año.

2007 Se producen más de 2.000 MW de módulos fotovoltaicas ese año.

A lo largo de la historia la energía solar fotovoltaica ha desarrollado su tecnología en términos de eficiencia, diseño y costos con el fin de llegar a convertirse en una fuente primaria de energía limpia en el mundo.

²http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/2_Breve_Historia/17_Medio_Ambiente_Energia_Solar_Fotovoltaica_Hoy_.html

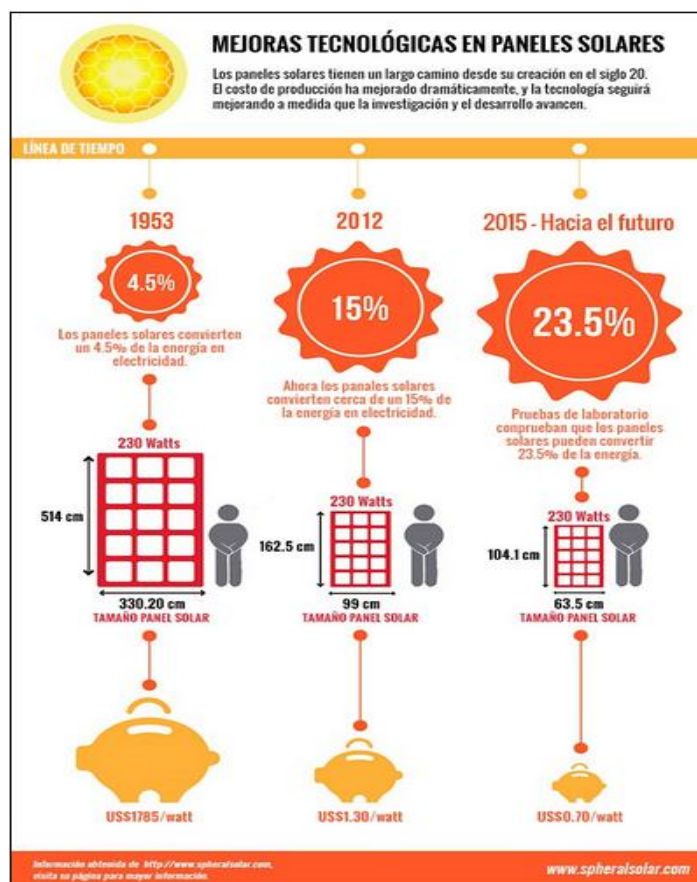


Figura 1. FUENTE: www.veoverde.com autor, fecha de publicación

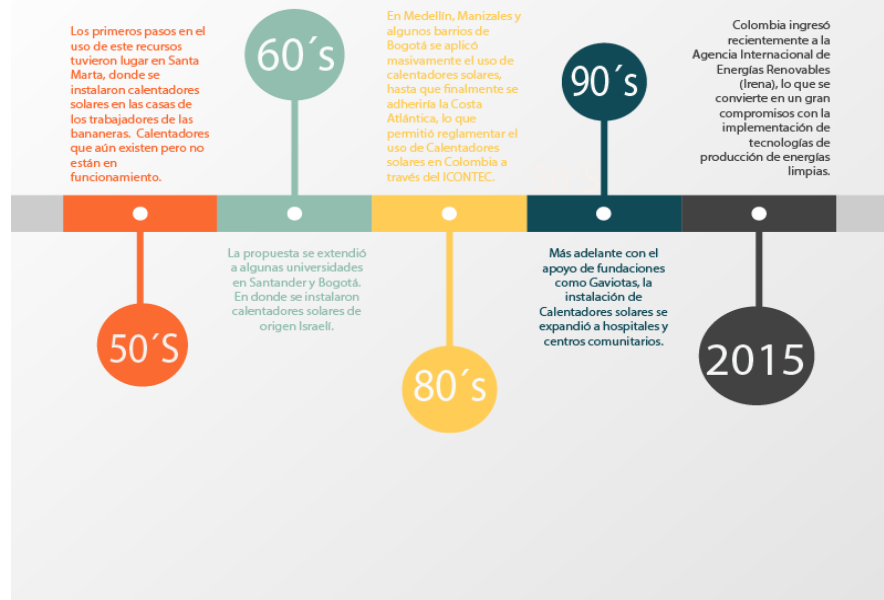
4.1.1. ANTECEDENTES

Energía solar en Colombia

A mediados del siglo pasado, Colombia empezó a incluir en diferentes sectores del país **energías alternativas**, utilizando la radiación solar para producir electricidad con recursos renovables y de fácil acceso a sectores rurales. Para la década de los 80 la **energía solar fotovoltaica** ya empezaba a implementarse en el país, inicialmente se instalaron pequeños generadores para radioteléfonos en sectores rurales y más adelante se instalarían sistemas fotovoltaicos con más capacidad para antenas satelitales.

A través de esta línea de tiempo puede ver cómo fue el proceso para calentadores solares y cuál es el presente de la energía solar en Colombia:

Energía solar en Colombia



Actualmente, algunas empresas de energía solar fotovoltaica han permitido el acceso a esta nueva tecnología a lugares como Bogotá, Cali, Medellín, entre otras ciudades.

Colombia, con un gran potencial solar por explorar

Por su posición geográfica Colombia, ubicado en la zona ecuatorial, cuenta con radiación solar constante en determinadas zonas del territorio, uno de los elementos claves para convertirse en generador de energía solar. Este efecto puede durar las 12 horas al día, registrando incluso los índices más altos a nivel mundial. Por lo que con una menor cantidad de **paneles solares**, a diferencia de otros países, es posible abastecer una casa o edificio, haciéndolo más económico y eficiente a largo plazo.

Teniendo en cuenta que 1 de cada 5 personas carece de energía eléctrica en su hogar y que la **energía solar fotovoltaica en Colombia** permite mayor acceso a sectores rurales a bajo costo, estamos frente a una gran oportunidad de reducir el efecto invernadero, conservar nuestros recursos naturales e incrementar la cobertura de energía para familias del sector rural colombiano.

En la actualidad, **las empresas de energía solar en Colombia** que se dedican a la **venta de paneles solares, instalaciones de sistemas solares fotovoltaicas,**

le apuestan a promover el uso inteligente de la energía, respondiendo a una necesidad mundial: generar energía con elementos no contaminantes.

Ley 1715 de 2014, el inicio de una revolución energética

La **ley 1715 de mayo de 2014** que fue aprobada en Colombia, busca promover el uso de energías renovables en el país. Un gran paso a una revolución energética que es de interés social, un asunto de utilidad pública, que permitirá el acceso a zonas rurales que están aisladas del sistema interconectado nacional, sustituyendo poco a poco la generación de diesel por energías “amigables con el medio ambiente”.

A través de esta ley se apoyará la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía, a través de incentivos tributarios, arancelarios o contables. Ofreciendo también la posibilidad de vender el excedente de energía no consumida a la red eléctrica con los términos que ofrezca la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), lo que se convierte en un ahorro y un ingreso económico significativo para los auto generadores de energía renovable de pequeña y gran escala³.

4.2. MARCO CONTEXTUAL

En Colombia la utilización de la energía solar es muy reducida, su mayor uso es en la energía solar térmica la cual se utiliza en el calentamiento de agua en hoteles, clínicas y en uso industrial. Colombia está ubicada en la zona tropical, lo que la pone en una posición privilegiada puesto que los días de sol son hasta de 12 horas diarias por lo que las variaciones de radiación en el año son pequeñas comparadas con las de otras regiones del mundo.

Este proyecto se realizara en Pereira y Dosquebradas, ubicada en la zona cafetera a 4°48'51"N 75°41'40"O con una altitud de 1411 msnm, temperatura media de 22 grados Celsius y una humedad relativa de 2750 mm.

4.3. MARCO TEORICO - CONCEPTUAL

4.3.1. ENERGIAS

Las energías convencionales o derivadas de los combustibles fósiles son las más utilizadas y altamente contaminantes y responsables del calentamiento global debido al Dióxido de Carbono (CO₂) y la lluvia acida debida al Dióxido de Azufre (SO₂).

³ Tomado de <http://www.laguiasolar.com/energia-solar-en-colombia/>

Los combustibles fósiles que están almacenados tienden a escasear y su consumo que es 100.000 veces más rápido que su velocidad de formación empezara a elevar el costo de vida.

Otra forma de generar energía son las energías no convencionales que son la solar (proveniente del sol), eólica (proveniente del viento), hidráulica (proveniente de los ríos y corrientes de agua), mareomotriz (proveniente del mar), la biomasa (proveniente de la materia orgánica de origen animal o vegetal) y geotérmica (proveniente del calor natural de la tierra) y se caracterizan por ser inagotables, limpias y no contaminar el medio ambiente. El futuro de las fuentes energéticas se está centrando en las energías no convencionales, por lo tanto es muy importante aprovechar su gran capacidad de producción de energía.

4.3.1.1. DEMANDA ENERGÉTICA

4.3.1.1.1. Demanda Energética en el Mundo

Las centrales termoeléctricas (de carbón, gas natural, petróleo y nucleares) son responsables de aproximadamente el 80 % de la producción mundial de electricidad.

A nivel mundial, las fuentes no convencionales (incluida la energía hidroeléctrica) representan el 13 % de las fuentes de energía primarias.

Durante el período 2000–2010, la generación de energía eólica aumentó en un promedio del 27 % y la de energía solar fotovoltaica (PV) en un promedio del 42 % anual según la Agencia Internacional de Energía (AIE). Se prevé que la energía eólica y solar continúe creciendo rápidamente en los próximos 20 años.

Según el Escenario de Nuevas Políticas de la Agencia Internacional de Energía (AIE), se espera que la demanda energética mundial se incremente en más de un tercio de aquí al 2035 y donde China, la India y el Medio Oriente en particular serán responsables de cerca del 60 % del incremento. En general, el 90 % del incremento de la demanda procederá de países ajenos a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

La energía hidroeléctrica es actualmente la principal fuente no convencional de generación de electricidad en el mundo y en el 2010 cubrió un 16 % de las necesidades mundiales de electricidad (AIE). Se espera que su aporte a la generación eléctrica total se sitúe en torno al 15 % hasta el año 2035 (AIE), manteniendo el ritmo a la par que la tasa de crecimiento global de generación de electricidad.

Se espera que aproximadamente el 90 % del aumento en la producción de energía hidroeléctrica entre el 2010 y el 2035 tenga lugar en países no pertenecientes a la OCDE, donde el potencial remanente es mayor y el crecimiento en la demanda de electricidad es más acusado.

La energía representa una parte significativa de la utilización de agua de un país (tanto de consumo como de no consumo). La AIE calcula la extracción de agua para la producción de energía en 583.000 millones de m³ a nivel mundial en el 2010 (lo cual supone alrededor de un 15 % de las extracciones mundiales totales o aproximadamente un 75 % del total de extracciones industriales de agua), de los que se consumieron 66.000 millones de m³. Para el 2035, de acuerdo con el Escenario de Nuevas Políticas de la AIE, las extracciones aumentarían en un 20 %, mientras que el consumo lo haría en un 85 %.

- El 90 % de la generación de electricidad a nivel mundial se caracteriza por un consumo intensivo de agua. Existe un creciente riesgo de conflicto entre la generación de electricidad, los otros usuarios del agua y los aspectos ambientales.
- Se calcula que de unos 15 a 18.000 millones de m³ de recursos de agua dulce son contaminados anualmente por la producción de combustibles fósiles, con importantes consecuencias para los ecosistemas y las comunidades que dependen del agua para beber y sobrevivir. A nivel mundial, el cambio climático derivado de la combustión de combustibles fósiles tendrá un impacto importante a largo plazo en la disponibilidad y calidad del agua en todo el planeta.
- El sector de la energía térmica, responsable de aproximadamente el 80 % de la producción mundial de electricidad, utiliza una importante cantidad de agua: es responsable del 43 % del total de extracciones de agua dulce en Europa y de más del 50 % de las extracciones nacionales de agua en varios países.⁴

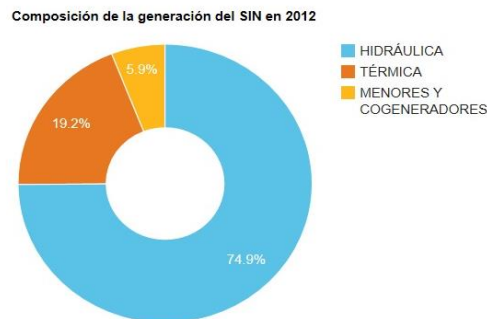
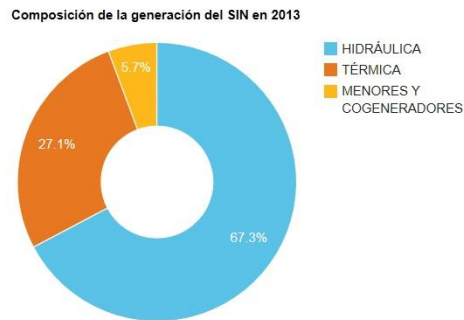
4.3.1.1.2. Demanda Energética en Colombia

A finales del 2013 la generación anual de energía eléctrica en Colombia fue de 62,196.6 GWh, 3.7% por encima de la registrada en 2012 para este mismo período (59,988.9 GWh). Esta evolución positiva se debió principalmente al incremento en la demanda y en las exportaciones hacia Venezuela y Ecuador.

Durante 2013, la generación térmica se incrementó en un 46.3%, pasando de una participación del 19% en 2012, a un 27% en 2013 (ver gráfica 2), mientras la generación hidráulica disminuyó en un 6.9%. Lo anterior, en parte podría explicarse por la incertidumbre sobre el comportamiento de la hidrología esperada para los años 2013 y 2014.⁵

⁴ Tomado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002269/226961s.pdf>

⁵ Tomado de <http://informesanuales.xm.com.co/2013/SitePages/operacion/2-4-Generación-del-SIN.aspx>



Grafica 1. Comparación de la generación en los años 2012 y 2013

4.3.1.2. PROBLEMAS AMBIENTALES

Son aquellos cuyos efectos no se limitan a un país o región, sino que se manifiestan extensa e intensamente por todo el planeta caracterizados por la contaminación y obstrucción en todo el mundo. Las principales características observadas a través del tiempo en los cambios sufridos por el medio ambiente son:

- Destrucción de la Capa de Ozono
- Calentamiento de la Tierra
- Lluvia Ácida
- Destrucción de los Bosques y Selvas Tropicales
- Desertificación
- Extinción de Especies Animales
- Disposición Final de los Desechos Tóxicos
- Contaminación de los Océanos
- Contaminación Atmosférica

4.3.1.2.1. Principales causas a nivel global

Los principales problemas del medio ambiente, se expresan en el agotamiento de recursos naturales renovables y no renovables; en la distribución ecológica desigual del consumo de energía entre países y en la disminución de la capacidad del sistema ambiental planetario para asimilar los desechos producidos por la sociedad. Un importante problema ambiental mundial es el caso del equilibrio en la atmósfera, causado por la producción de gases efecto invernadero, que empezó a inducir cambios en los patrones del clima global.

4.3.1.2.2. Problemas ambientales en Colombia

La calidad ambiental en Colombia en los últimos años ha desmejorado a un ritmo constante y sin precedentes, lo que ha derivado en una gran crisis ambiental caracterizada por una alta deforestación, contaminación hídrica, alteración de los ecosistemas de alta importancia como páramos y humedales y la calidad del aire que se respira en las grandes ciudades como Bogotá, Medellín, Barranquilla, Cali.

El gobierno y el sector industrial han implementado monocultivos que generan daño a la fertilidad de los suelos, como el caso de la palma africana para la generación de biocombustibles. Estos cultivos se encuentran localizados en las regiones selváticas del pacífico donde se tiene la mayor biodiversidad en el mundo.

Otro impacto ambiental en Colombia es la creación de carreteras y grandes obras de infraestructura que disminuyen las selvas y las regiones agrícolas del país.

4.3.1.2.3. Efecto invernadero

Es un fenómeno natural que ha desarrollado el planeta para permitir que exista la vida. El planeta está cubierto por una capa de gases llamada atmósfera. Esta capa permite la entrada de algunos rayos solares que calientan la Tierra, al calentarse, también emite calor pero esta vez la atmósfera impide que se escape todo hacia el espacio y lo devuelve a la superficie terrestre evitando que la temperatura del planeta no sea demasiado baja.

Estos gases se llaman gases de efecto invernadero (GEI). Los más importantes son... el Dióxido de Carbono (CO₂), el Metano (CH₄), los Óxidos de Nitrógeno (NO_x), el Vapor de agua, el Ozono (O₃) y los Clorofluorocarbonos (CFCs). Como se puede ver los CFC son negativos tanto para la capa de ozono como para el cambio climático. El hombre ha ido aumentando la cantidad de estos gases en la atmósfera lo que ha provocado paulatinamente el cambio en el clima a nivel mundial. Es por esto que es más conocido como cambio climático y no como efecto invernadero.



Figura 2. Efecto invernadero.

4.3.1.2.4. Efectos de los contaminantes sobre la salud

Los cambios del clima mundial conllevan a una serie de riesgos para la salud, tales como el aumento de la mortalidad por las altas temperaturas o el cambio de la distribución de las enfermedades infecciosas. El aumento de la temperatura modifica los niveles y la distribución estacional de partículas aéreas naturales (por ejemplo, el polen) y pueden provocar el asma. Hay aproximadamente 300 millones de personas con asma y se teme que el alza en la temperatura eleve el número de personas con dicha enfermedad.

Los fenómenos meteorológicos extremos, como las grandes lluvias, las inundaciones o los huracanes ponen en peligro la salud y destruyen propiedades y medios de subsistencia. En la última década del siglo XX, los desastres naturales relacionados con las condiciones meteorológicas produjeron aproximadamente 600.000 muertes en todo el mundo, el 95% de ellas en países pobres.

La elevación del nivel del mar, aumenta el riesgo de inundaciones en las costas y podría causar desplazamientos de población. Además de producir directamente lesiones y muertes, las inundaciones pueden aumentar el riesgo de infecciones transmitidas por el agua.

El aumento de la variabilidad de las precipitaciones puede poner en riesgo el suministro de agua dulce. La escasez de agua afecta ya a un 40% de la población mundial. La falta de agua y su mala calidad pueden poner en peligro la salud y la higiene, con el consiguiente aumento del riesgo de enfermedades diarreicas (causa de la muerte de 2,2 millones de personas cada año), de tracoma (una infección ocular que puede producir ceguera) y otras enfermedades.⁶

⁶ Tomado de http://www.who.int/features/factfiles/climate_change/facts/es/index5.html

4.3.1.2.5. Efectos sobre los ecosistemas

Con el aumento de la temperatura global del planeta los diferentes ecosistemas van a variar, algunas especies se van a ver obligadas a abandonar sus hábitats (o posiblemente a la extinción) debido a las condiciones cambiantes, mientras que otros están floreciendo. Efectos secundarios del calentamiento global, tales como disminuir la cubierta de nieve, subida del nivel del mar y cambios climáticos, no sólo puede influir en las actividades humanas, sino también en el ecosistemas. Tras estudiar la asociación entre el clima de la Tierra y las extinciones en los últimos 520 millones de años, los científicos de la Universidad de York, escriben: "Las temperaturas globales previstas para los próximos siglos, puede poner en marcha un nuevo evento de extinción masiva", donde más del 50 por ciento de las especies de animales y las plantas sería aniquilado. Otros estudios más recientes, predicen la extinción de entre un 18% y un 35% de una muestra de 1,103 animales y plantas para el 2050, basado en las proyecciones futuras del clima.⁷

La fauna y la flora silvestre y la diversidad biológica, ya amenazadas por la destrucción del hábitat y el ser humano, enfrentarán nuevos retos debido al cambio climático. Muchos ecosistemas ya están respondiendo a la elevación de las temperaturas avanzando hacia los polos y escalando laderas de montañas. Los ecosistemas más vulnerables son los arrecifes de coral, los bosques boreales (subárticos), los hábitats de montaña y los que dependen del clima mediterráneo.

Otro factor que afecta el ecosistema es la tala intensiva de bosques para diferentes aplicaciones como procesos térmicos, producción de papel y otros bienes, esto demuestra que al hombre poco le importa lo destructible que puede ser con la naturaleza, sin tener en cuenta que esta es la que mantiene en equilibrio las concentraciones de gases (CO₂), manteniendo así el aire limpio, y protegiendo todo tipo de fauna y flora.

4.3.2. ENERGÍAS NO CONVENCIONALES

Son aquellas que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables y a las que se puede recurrir de manera permanente, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Su impacto ambiental es nulo en la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂.

Entre las energías no convencionales se cuentan la solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica a baja escala, mareomotriz, undimotriz, la biomasa y los biocombustibles.

⁷ Tomado de http://es.wikipedia.org/wiki/Cambio_clim%C3%A1tico_en_el_medio_ambiente

4.3.2.1. Energía Solar

Es una fuente de energía de origen renovable obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol.

La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo desde su concepción. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías no convencionales, que pueden ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.

4.3.2.1.1. Fotovoltaica

Es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos llamados paneles fotovoltaicos o células fotovoltaicas. En los paneles o células fotovoltaicas, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

Una de las principales virtudes de la tecnología fotovoltaica es su aspecto modular, pudiéndose construir desde enormes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados.

4.3.2.1.2. Térmica

Consiste en la transformación de la energía radiante del sol en energía térmica que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

4.3.2.2. Eólica

Es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. En la antigüedad se utilizaba en la navegación, para moler el grano y para sacar agua de los pozos. Esto se logra gracias a los aerogeneradores, grandes molinos de entre 40 y 50 metros de altitud y con hélices de hasta 23 metros de diámetro.

La fuerza del viento de unos 15 Km/h hace que se mueva la hélice del aerogenerador que, gracias al rotor de un generador, convierte esta fuerza en energía eléctrica. En su parte posterior, una veleta lo orienta para saber de dónde viene el viento. Estas grandes maquinas se agrupan en los llamados parques eólicos.

4.3.2.3. Biomasa

Es la materia orgánica de origen vegetal o animal originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Es una fuente de energía procedente, en último lugar, del Sol, y es renovable siempre que se use adecuadamente. Se puede clasificar de la siguiente forma:

- **Biomasa natural:** es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.
- **Biomasa residual:** es la que genera cualquier actividad humana, principalmente en los procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, tal como, basuras domésticas (residuos sólidos urbanos (R.S.U.)) y aguas residuales.
- **Biomasa producida:** es la cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible, en vez de producir alimentos, como la caña de azúcar en Brasil, orientada a la producción de etanol para carburante.

4.3.2.4. Hidráulica

Es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas. Se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior, lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla; en caso contrario, es considerada solo una forma de energía renovable. Alrededor del 20% de la electricidad usada en el mundo procede de esta fuente.

Existen varios tipos de sistemas hidroeléctricos:

De gran escala: son las que construyen elevadas presas a través de ríos grandes para generar grandes embalses; luego, el agua acumulada se deja fluir a través de conductos a velocidades controladas, impulsando turbinas y generando electricidad. Estos embalses a gran escala destruyen ecosistemas, desplazan pobladores y disminuyen la fertilización natural de los terrenos agrícolas situados aguas abajo de la presa. No va ojo

De pequeña escala (mini hidráulica <5MW): se construyen presas de baja altura sin embalses, o bien con uno pequeño. El flujo de agua natural y renovable se

utiliza para generar electricidad, pero la producción de energía puede variar con los cambios estacionales en el caudal de la corriente fluvial.

4.3.2.5. Geotérmica

Es la que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El calor interno de la tierra produce la fusión de las rocas y el calentamiento de las aguas subterráneas y los gases subterráneos calientan el agua de las capas inferiores, la que emana a la superficie en forma de vapor o líquido caliente.

Estas erupciones intermitentes, normalmente las encontramos en zonas volcánicas y se conocen con el nombre de géiser.

Existen puntos en los que se producen anomalías geotérmicas, dando lugar a temperaturas entre 100 y 200°C por kilómetro, siendo estos puntos:

- **Hidrotérmicos**, tienen en su interior de forma natural agua en estado líquido o en vapor, dependiendo de la presión y temperatura. Suelen encontrarse en profundidades comprendidas entre 1 y 10 Km.
- **Geo presurizados**, son similares a los hidrotérmicos pero a una mayor profundidad, encontrándose el fluido calo portador a una mayor presión, unos 1000 bares y entre 100 y 200°C, con un alto grado de salinidad, generalmente acompañados de bolsas de gas y minerales disueltos.
- **De roca caliente**, son formaciones rocosas impermeables y una temperatura entre 100 y 300°C, próximas a bolsas magmáticas.

4.3.2.6. Mareomotriz

Se debe a las fuerzas de atracción gravitatoria entre la Luna, la Tierra y el Sol. Es la que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última y del Sol sobre las masas de agua de los mares. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable. Es un tipo de energía renovable limpia.

4.3.2.7. Undimotriz

Consiste en el aprovechamiento de la energía cinética y potencial del oleaje para la producción de electricidad. El oleaje se entiende como un derivado terciario de la energía solar. El calentamiento desigual de la atmósfera terrestre genera viento, y el viento genera olas. Únicamente el 0,01 % del flujo de la energía solar se transforma en energía de las olas. **Una propiedad característica de las olas es su capacidad de desplazarse a grandes distancias sin apenas pérdida de energía.** Por ello, la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental, de esta manera, su energía se concentra en las costas.

La energía contenida en las olas varía de un sitio a otro, pero, en general, **cuanto más alejadas del ecuador estén, más energía contendrán.** Aunque condiciones locales, tales como, tipo de costa, lugar donde se generen y profundidad del océano, tienen una gran importancia en la definición de la cantidad de energía. Según estimaciones, se puede asumir que **el flujo de energía de las olas en Europa podría equivaler a 1.000 TWh anuales**, cantidades a tener muy en cuenta de cara a una futura expansión en el aprovechamiento de este tipo de energía.

4.3.3. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Como su nombre lo dice la energía solar fotovoltaica depende directamente del sol convirtiendo la energía que irradia este en voltaje, por medio de unas placas o celdas solares incorporadas en unos paneles solares los cuales tienen un gran número de estas celdas, estas aprovechan este fenómeno de conversión para generar energía eléctrica.

4.3.3.1. Radiación Solar

Es la energía emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas, en línea recta sin intervención de una materia intermedia a 300.000 km por segundo.

Existen varios tipos de radiación:

- **Radiación electromagnética:** es la propagación de energía mediante la combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes. Se conoce como espectro electromagnético a la distribución energética de las ondas electromagnéticas, que van desde los rayos gamma (cuya longitud de onda se mide en picómetros) hasta las ondas de radio (con longitudes de onda que pueden medirse en kilómetros).

- **Radiación corpuscular:** consiste en la propagación de partículas subatómicas que se desplazan a gran velocidad con carácter ondulatorio. Dichas partículas pueden estar cargadas o descargadas desde el punto de vista eléctrico.
- **Radiación ionizante:** propaga la energía suficiente para ionizar la materia. Lo que quiere decir que produce iones y extrae los electrones del estado ligado al átomo.
- Los generadores de rayos X y los aceleradores de partículas son ejemplos de radiación ionizante.
- La radiación que recibimos del sol en función de cómo es recibida por los objetos se divide en:
 - **Radiación directa:** Es la que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
 - **Radiación difusa:** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc.

Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

- **Radiación reflejada:** Es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.
- **Radiación global:** Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones.⁸

⁸ [Definición de radiación - Qué es, Significado y Concepto http://definicion.de/radiacion/#ixzz3kYIfWYu4](http://definicion.de/radiacion/#ixzz3kYIfWYu4) Lee todo en: [Definición de radiación - Qué es, Significado y Concepto http://definicion.de/radiacion/#ixzz3kY8l7Qsr](http://definicion.de/radiacion/#ixzz3kY8l7Qsr)

4.3.3.2. Irradiancia e Irradiación sobre superficies

La irradiancia es la magnitud que describe la potencia que incide sobre una superficie por unidad de área. Se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). La irradiancia se especifica por cada punto de una superficie y, en muchos casos, varía de un punto a otro.

Con esta magnitud se mide la cantidad de energía solar que llega a la atmósfera de la tierra que es de 1367 W/m^2 y que se conoce como constante solar. En la superficie terrestre el mejor valor de irradiancia posible está alrededor de los 1000 W/m^2 .

La Irradiación es el valor de la energía que llega durante un periodo de tiempo por cada unidad de área y se expresa en MJ/m^2 o kWh/m^2 .

$$1 \text{ kWh/m}^2 = 3.6 \text{ MJ/m}^2$$

$$1 \text{ MJ/m}^2 = 0.278 \text{ kWh/m}^2 \text{ (horas pico).}$$

4.3.3.3. La Radiación Solar en Colombia

En Colombia los encargados del tema de la radiación solar son La Unidad de Planeación Energética (UPME) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) quienes desarrollaron el Atlas de Radiación Solar de Colombia.

Gracias a su ubicación geográfica Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual entre 5,5 y 6,0 kWh/m^2 (destacándose la península de La Guajira, con un valor promedio de 6,0 kWh/m^2 y la Orinoquia, con un valor un poco menor), propicio para un adecuado aprovechamiento.

Una aproximación a la disponibilidad promedio multianual de energía solar por regiones es:

REGIÓN	kWh/m2 /año
GUAJIRA	6.0
COSTA ATLÁNTICA	5,5
ORINOQUIA	5,0
AMAZONIA	3,0
ANDINA	4,0
COSTA PACÍFICA	3,5

Fuente IDEAM UMPME 2015

4.3.3.4. Atlas de Radiación Solar en Colombia

El Atlas de Radiación Solar brinda información que cuantifica la energía solar que incide sobre la superficie del país. En el cual hay una serie de mapas, 13 en total, uno para cada mes del año, donde se representa la distribución espacial del potencial energético solar de Colombia; en estos mapas se establece el valor promedio diario de radiación solar global, brillo solar, radiación solar UV, ozono e índices UV que incide sobre una superficie plana por metro cuadrado.

Cuenta con apéndices que explican las características del sol, su relación astronómica con la tierra, las estaciones meteorológicas de referencia para la elaboración del estudio, metodologías e instrumentos utilizados en la medición de la radiación solar y la forma de interpretar la información de los mapas para hallar los niveles de radiación global promedio anual cualquier mes del año o promedio diario anual en cualquier lugar del país.

4.4.4. EFECTO FOTOVOLTAICO (EFV)

Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica están basadas en el aprovechamiento del **efecto fotoeléctrico** que consiste en la emisión de electrones por un material cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general).⁹ La luz Ultravioleta es

⁹http://books.google.com.co/books?id=wo9tYi5WSoMC&pg=PA93&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

parte integrante de los rayos solares los cuales están compuestos por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar.

Cuando los fotones inciden sobre una célula Foto Voltaica, pueden ser reflejados o absorbidos. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula, con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

4.4.4.1. Células Fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas se encargan de transformar la energía del sol en electricidad. Dicha transformación se da mediante un fenómeno físico llamado "efecto fotovoltaico". La célula fotovoltaica que más se utiliza está compuesta de una fina lámina de un material semiconductor cuya composición principal es el silicio que al exponerse a la luz del sol absorbe los fotones de luz.

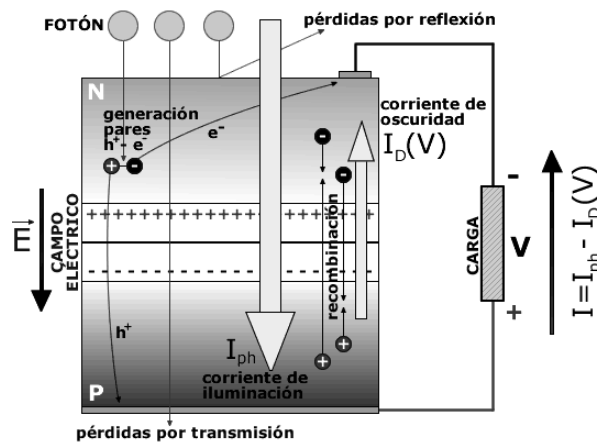


Figura 3. Principio de funcionamiento de una Célula Fotovoltaica.

4.4.4.1.1. Composición de una celda fotovoltaica

Los paneles solares se componen de varias celdas o células fotovoltaicas. En cada célula el elemento básico es el Silicio (Si), material que, sin impurezas, es un semiconductor intrínseco. Tiene la capacidad de conducir electricidad pero presenta carga neta neutra. Cada átomo de Silicio en estado natural es tetravalente, lleva cuatro electrones en sus orbitales externos. Estos orbitales tienen capacidad para ocho. Cuando dos átomos de silicio interaccionan entre sí, cada átomo aporta cuatro electrones para crear un enlace fuerte y quedan con carga neutral, pues los 8 electrones satisfacen las necesidades de los átomos de Silicio, no quedan cargas ni positivas ni negativas.

Al tener una carga neutra, los paneles de Silicio puro no generarían electricidad en los paneles solares aunque puedan transportarla. El Silicio se combina con pequeñas cantidades de otros elementos, denominados dopantes, para crear los conocidos como semiconductores extrínsecos. Los elementos dopantes introducen un déficit o exceso de electrones respecto al Silicio puro permitiendo así que se generen cargas positivas o negativas.

Los dopantes más utilizados son el Fósforo y el Boro. El Fósforo (P) es pentavalente, tiene 5 electrones para ofrecer en los enlaces a otros átomos frente a los cuatro que tiene el Silicio. En la interacción Si-P quedará un electrón extra y, como el electrón tiene carga negativa, el panel de Silicio/Fósforo (panel tipo N) quedará cargado negativamente.

Ya tenemos la carga negativa. Para crear el flujo de electricidad necesitamos una carga positiva. Esta carga se genera en un panel de Silicio/Boro. El Boro es trivalente, sólo tiene 3 electrones para ofrecer, lo que dejará un hueco en el Silicio para aceptar un electrón más, por esto el panel Silicio/Boro (panel tipo P) queda cargado positivamente.

Ambos tipos de paneles se disponen en las células fotovoltaicas como un sándwich y unidos entre sí mediante un hilo conductor. La primera célula solar fue construida en 1884 por Charles Fritts y estaba formada por Selenio (panel P) recubierto de una fina capa de oro (panel N)¹⁰.

4.4.4.1.2. Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas

En un semiconductor expuesto a la luz, un fotón de energía arranca un electrón, creando al pasar un «hueco». Normalmente, el electrón encuentra rápidamente un hueco para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, pues, se disipa.

El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones y a los huecos a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente recombinarse en él: así, se producirá una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material, como ocurre en una pila. Para ello, se crea un campo eléctrico permanente, a través de una unión pn, entre dos capas dopadas respectivamente, p y n:

La capa superior de la celda se compone de silicio dopado de tipo n. En esta capa, hay un número de electrones libres mayor que una capa de silicio puro, de ahí el nombre del dopaje n, como carga negativa (electrones). El material permanece

¹⁰ Tomado de: <https://curiosoando.com/como-funciona-un-panel-solar>

eléctricamente neutro: es la red cristalina quien tiene globalmente una carga negativa.

La capa inferior de la celda se compone de silicio dopado de tipo p. Esta capa tiene por lo tanto una cantidad media de electrones libres menor que una capa de silicio puro, los electrones están ligados a la red cristalina que, en consecuencia, está cargada positivamente. La conducción eléctrica está asegurada por los huecos, positivos (p).

4.4.4.1.3. Eficiencia de una celda fotovoltaica

La eficiencia η de una célula fotovoltaica está dada por el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula está conectada a un circuito eléctrico.

La eficiencia se calcula usando la relación del punto de potencia máxima, P_m , dividido entre la luz que llega a la celda irradiancia, (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula (A_c , en m^2).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

Las condiciones estándar especifican una temperatura de 25°C una irradiancia de 1000 W/m^2 y una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Esto corresponde a la irradiación y el espectro de luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada sobre la horizontal 41,81° con respecto al sol¹¹.

4.4.4.1.4 Tipos de células fotovoltaicas

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se empleen. Los tipos de paneles solares¹² que se pueden encontrar en el mercado son:

❖ En función de los materiales:

– **Células Monocristalinas:** Representan la primera generación. Están compuestas por una barra de silicio puro perfectamente cristalizado en una sola pieza uniforme de color azul o negro. Se requiere una gran cantidad de energía en su fabricación.

Su eficiencia eléctrica es alta, aproximadamente del 16% y en el laboratorio del 23%.

¹¹ Tomado de <http://paneles-fotovoltaicos.blogspot.com/>

¹² http://www.energiasrenovables.es/fuentes_energias/solar_fotovoltaica/fotovoltaicasorganicas.html



Panel solar monocristalino

– **Células policristalinas:** Se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar un aspecto granulado en su superficie. Su rendimiento es inferior a las células monocristalinas, en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14% siendo su precio también más bajo.



Panel solar policristalino

- **Células de Lámina Delgada:** Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más finos y versátiles que permiten su adaptación a superficies irregulares. Su proceso de fabricación es mucho más económico puesto que utiliza menos materia prima y el consumo de energía es mucho menor.

Los tipos de paneles de lámina delgada son:

– **Silicio amorfo (TFS):** Basados también en el silicio, se caracteriza porque los átomos que lo componen no tienen un orden periódico definido, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

– **Teluro de cadmio:** Es un material policristalino, es decir, formado por pequeños cristales. Su coeficiente de absorción es más elevado que el del silicio amorfo. El proceso de fabricación es sencillo y económico, y actualmente presenta los costos más bajos de todas las tecnologías comerciales de módulos fotovoltaicos. Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%

– **Arseniuro de Galio:** Tiene propiedades semiconductoras que lo hacen ideal para la fabricación de células fotovoltaicas. Además tiene la facilidad de enlazarse con ciertos materiales y de esta manera permitir la construcción de células más eficientes.

Las desventajas son el alto costo y la toxicidad de sus componentes. Presenta rendimientos en laboratorio del 25.7% y en módulos comerciales del 20%

– **Diseleniuro de cobre en indio (CIGS):** Es también un material policristalino. Presenta un coeficiente de absorción mayor que el CdTe y el a-Si, esto hace que se requiera muy poca cantidad de semiconductor para fabricar estos módulos. El proceso de fabricación es complejo lo que hace que esta tecnología no sea tan ventajosa.

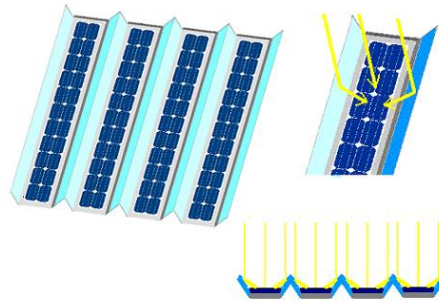
El rendimiento en el laboratorio es próximo al 17% y en módulos comerciales del 9%.

- **Células Tándem:** Combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar. Mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte del mismo. Con este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse hasta un rendimiento del 50%.

❖ Paneles en función de la forma

Es posible clasificar los paneles en función de la forma. Empleando cualquiera de los materiales mencionados se fabrican paneles en distintos formatos para adaptarse a una aplicación en concreto o bien para lograr un mayor rendimiento. Algunos ejemplos de paneles con formas distintas a la del clásico plano son:

- **Paneles con sistemas de concentración:** son aquellos que mediante un sistema reflectante concentran la luz sobre los paneles fotovoltaicos. Aunque no se varíe el porcentaje de conversión, una misma superficie de panel producirá más electricidad ya que recibe una cantidad concentrada de fotones. Actualmente se investiga en sistemas que concentran la radiación solar por medio de lentes. La concentración de la luz sobre los paneles solares es una de las vías que están desarrollando los fabricantes para lograr aumentar la efectividad de las células fotovoltaicas y bajar los costos.



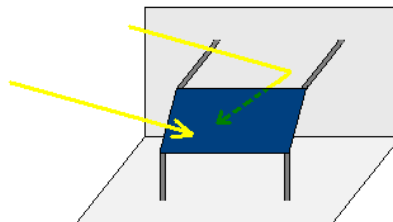
Panel con sistema de concentración

- **Paneles de formato “teja o baldosa”**. Estos paneles son de tamaño pequeño y están pensados para combinarse en gran número para así cubrir las grandes superficies que ofrecen los tejados de las viviendas. Aptos para cubrir grandes demandas energéticas en los que se necesita una elevada superficie de captación.



Panel de forma teja o baldosa

- **Paneles bifaciales**: capaz de transformar en electricidad la radiación solar que le recibe por cualquiera de sus dos caras. Para aprovechar convenientemente esta cualidad se coloca sobre dos superficies blancas que reflejan la luz solar hacia el reverso del panel.



Panel Bifacial

❖ **Sistemas de seguimiento solar**

En los sistemas solares fotovoltaicos existe la posibilidad de emplear elementos seguidores del movimiento del Sol que favorezcan y aumenten la captación de la radiación solar.

Existen tres tipos de soporte para los colectores solares:

- **Colocación sobre soporte estático:** Es un soporte sencillo sin movimiento. Dependiendo de la latitud y la aplicación de la instalación se dota a los paneles de la inclinación más adecuada para captar la mayor radiación solar posible. Es el sistema más común y más utilizado en las instalaciones.

- **Sistemas de seguimiento solar de 1 eje:** Realizan cierto seguimiento solar. La rotación del soporte se hace por medio de un solo eje, ya sea horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento es el más sencillo y el más económico resultando sin embargo incompleto ya que sólo podrá seguir o la inclinación o el azimut del Sol, pero no ambas a la vez.

- **Sistemas de seguimiento solar de dos ejes:** Con este sistema es posible realizar un seguimiento total del sol en altitud y en azimut y siempre se conseguirá que la radiación solar incida perpendicularmente obteniéndose la mayor captación posible. Existen tres sistemas básicos de regulación del seguimiento del sol por dos ejes:

- **Sistemas mecánicos:** El seguimiento se realiza mediante un motor y un sistema de engranajes. Dado que la inclinación del Sol varía a lo largo del año es necesario realizar ajustes periódicos, para adaptar el movimiento del soporte.

- **Mediante dispositivos de ajuste automático:** Se realiza por medio de sensores que detectan cuando la radiación del sol no incide perpendicular al panel corrigiéndose la posición por medio de motores.

- **Dispositivos sin motor:** Sistemas que mediante la dilatación de determinados gases, su evaporación y el juego de equilibrios logran un seguimiento del Sol.

Con estos sistemas se estima un aumento entre el 30% y el 40% de la energía captada. Es necesario evaluar el costo del sistema de seguimiento y la ganancia derivada del aumento de la energía para determinar su rentabilidad.

4.4.5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica, basados en la capacidad de las celdas

fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC). Las celdas solares se fabrican con materiales semiconductores, tales como el silicio, que tienen la función de recibir los fotones que viajan a través de los rayos solares.

La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol brille sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

Los sistemas fotovoltaicos están compuestos por otra serie de elementos como reguladores de carga que protegen las baterías, baterías o acumuladores para almacenar energía e inversores que alimentan cargas de corriente alterna.

4.4.5.1. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema fotovoltaico se define como el conjunto de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos que nos servirán para transformar la energía solar en energía eléctrica. Para cada aplicación o necesidad se tendrá un sistema diferente, con componentes diferentes. Se tienen los siguientes tipos de sistemas fotovoltaicos:

4.4.5.1.1.1 Sistemas aislados de la red (Off Grid)

Es un sistema completamente independiente y autónomo gracias a que almacena la energía, puede utilizarse en las noches y durante los días nublados. Este tipo de sistemas es muy común en zonas rurales o alejadas de la ciudad donde no llega la red eléctrica. Pueden suministrar por si solos toda la energía eléctrica 100% renovable y limpia necesaria.

En casa puedes contar con un sistema de energía solar aislado para una tarea específica. Puedes por ejemplo, alimentar de energía tu centro de entretenimiento o una pequeña cabaña que tengas en el jardín.

4.4.5.1.1.2. Sistemas conectados a la red (On Grid)

Sistema en el que toda la energía generada por los paneles solares se inyecta directamente a la red de distribución eléctrica, es decir que operan en paralelo con la red, lo que lo hace un sistema muy eficiente y económico ya que no necesita de un banco de baterías, permiten tener un precio estable en el tiempo para su energía, menor al pagado a la distribuidora.

Cuenta con elementos que no solamente protegen la instalación, sino que también regulan la forma y la cantidad en que se suministra la energía eléctrica a la red central. Debe garantizar una cantidad de tensión, un tipo de frecuencia y una calidad de onda.

4.4.5.1.1.3. Sistema fotovoltaico hibrido

Este sistema interactúa con la red eléctrica y utiliza baterías en modalidad de UPS para suplir energía durante las interrupciones del servicio eléctrico.

Es eficiente en la conversión y ahorro de energía durante apagones, es un sistema muy similar al sistema sin baterías.

Los paneles solares generan potencia que reduce su consumo de la red de distribución eléctrica y reduce su factura de luz. Si la potencia no es suficiente el balance es suplido por la red de distribución, si los paneles solares generan más electricidad de la que está consumiendo, entonces el metro contabiliza ese excedente de energía a su favor.

En el caso de sistemas conectados a la red con baterías solares, el proceso de venta ocurre cuando las baterías están cargadas. La ventaja primordial de un sistema solar conectado a la red con baterías es proveer continuidad a las cargas críticas durante apagones.

4.4.5.1.1.4. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos

Son muchas las aplicaciones en las cuales se puede aprovechar la energía solar fotovoltaica ya que por su fácil instalación y por su casi nulo mantenimiento este sistema se ha convertido en una gran opción para energizar diferentes aplicaciones, lugares y otros tipos de sistemas.

Las aplicaciones más conocidas son: Calculadoras, juguetes, luces de señalización, cercos eléctricos, bombas de agua para agua potable o irrigación, lámparas portátiles, luces de emergencia, teléfonos públicos, sistemas domésticos pequeños (de 50 Watt para algunas lámparas, radio y una TV), refrigeradores para vacunas, etc.

Suministro eléctrico a casas aisladas, donde no es posible o rentable hacer un enganche a la red suministradora. Se aplica también en la parte agrícola usándolo en los sistemas de bombeo de agua, sistemas de riego de cultivos por goteo., iluminación de invernaderos, sistemas de ordeño, refrigeración, depuración de aguas, cercas eléctricas.

Producción energía eléctrica para su venta a la compañía suministradora, de esta forma, se produce un beneficio económico a favor del particular o empresa debido a que el precio de venta de la electricidad generada es sustancialmente superior al precio de compra a la compañía.

Existen otras grandes aplicaciones que se han vuelto populares, como fachadas u oficinas hechas de paneles fotovoltaicos, generación de potencia conectada a la

red a gran escala, paneles de advertencia a lo largo de las carreteras y proyectos de casas con techos completos de paneles fotovoltaicos.

4.4.6. ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos están compuestos de una serie de elementos que en su conjunto forman el sistema fotovoltaico, estos elementos son: Generador Fotovoltaico o Panel Solar, Acumuladores o Baterías, Regulador de Carga e Inversor, a continuación se hará una descripción de cada uno.

4.4.6.1. GENERADOR FOTOVOLTAICO

Es el encargado de transformar la energía del sol en energía eléctrica. Está formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie o paralelo los cuales están formados por células fotovoltaicas. La potencia generada por un módulo fotovoltaico depende de la cantidad de células que lo componen

Los módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC), la cual se puede almacenar directamente en las baterías.

Los consumos o cargas que el sistema fotovoltaico va a satisfacer (luminarias, radio, nevera, motores, etc ..) pueden ser de corriente continua (DC) o corriente alterna (AC); estos son considerados una parte importante del sistema fotovoltaico ya que son los que determinan el tamaño del sistema. En algunos sistemas el consumo se conoce con anterioridad, pero en otros como en el caso de la electrificación de un sitio apartado el consumo viene definido por el tiempo de utilización de las cargas por parte del usuario.

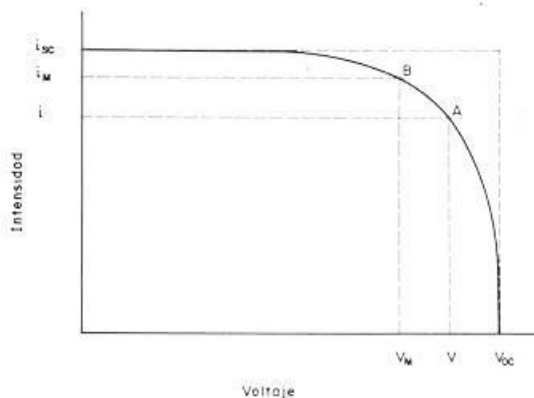
Es importante tener en cuenta la curva I-V que proporciona cada fabricante en sus hojas técnicas y en la influencia de la temperatura en la corriente y tensión del módulo. El aumento de temperatura hace aumentar ligeramente la corriente y en mayor medida, disminuir la tensión de salida del módulo.

➤ Relación Corriente Voltaje (I-V)

La curva característica de un panel fotovoltaico, llamada curva de intensidad-voltaje (curva I-V), representa los valores de tensión y corriente, medidos experimentalmente, de un panel fotovoltaico sometido a condiciones ambientales determinadas (radiación solar incidente y temperatura ambiente).

Variando la resistencia externa desde cero a infinito, se pueden medir diversos valores de pares (I-V), que interpolándolos forman la curva característica (ver figura)¹³.

¹³ Tomado de:



▪ Parámetros de la característica I-V

- Corriente de cortocircuito (I_{cc} notación española, I_{sc} notación internacional): es la máxima corriente que producirá el dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero.
- Voltaje de circuito abierto (V_{ca} notación española, V_{oc} notación internacional): Es el máximo voltaje del dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero.
- Potencia máxima (P_{max}): Es la máxima potencia que producirá el dispositivo en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura, correspondiente al par máximo I-V.
- Corriente en el punto de máxima potencia (I_{pmp}): Es el valor de la corriente para P_{max} en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.
- Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{pmp}): Es el valor de voltaje para P_{max} en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.
- Factor de forma (FF): Es el valor correspondiente al cociente entre P_{max} y el producto de $I_{sc} \times V_{oc}$. Puede venir expresado en tanto por ciento o tanto por 1, siendo el valor 100% el que corresponderá a un hipotético perfil de cuadrado, no real. Nos da una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico, siendo éste tanto mejor cuánto más alto sea su factor de forma.

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} I_{sc}}$$

La curva característica corriente tensión de una célula fotovoltaica puede describirse con suficiente precisión por la ecuación:

$$I = I_1 - I_o \left(\exp \left(\frac{V + IR_s}{mv_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

Dónde:

I_1 : Corriente fotogenerada

I_0 : Corriente inversa de saturación del diodo,

V_t : Voltaje térmico ($V_t=KT/e$, siendo K la constante de Boltzman, T temperatura en grados Kelvin y e la carga del electrón),

M: Factor de idealidad del diodo,

R_s : Resistencia serie

R_p : Resistencia paralelo.

4.4.6.2. BATERÍAS O ACUMULADORES

Las baterías o acumuladores fotovoltaicos se utilizan principalmente como sistema de almacenamiento energético debido al desplazamiento temporal que puede existir entre los periodos de generación (durante el día) y los periodos de consumo (como en las noches), permitiendo la operación de las cargas cuando el generador fotovoltaico por sí mismo no puede generar la potencia necesaria para abastecer el consumo. Se pueden utilizar para otros fines como estabilizadores de voltaje o corriente y para suministrar picos de corriente como el arranque de motores.

Las baterías están compuestas por celdas electroquímicas conectadas en serie; cada celda tiene electrodos positivos y negativos conectados en paralelo y sumergidos en un líquido o gel que sirve de electrolito o medio conductor iónico, en la medida que la batería se descarga el electrodo negativo se oxida y libera electrones que llegan al electrodo positivo por medio del circuito externo.

Las baterías tienen tres misiones en las instalaciones de sistemas fotovoltaicos:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Elementos de una batería

- ❖ *Célula*: Elemento básico electroquímico, consiste en un conjunto de placas positivas y negativas separadas por aislantes inmersos en una solución de electrolito, todo dentro de un contenedor.
- ❖ *Material Activo*: son los materiales que forman las placas positivas y negativas, son los reactivos de la célula. La cantidad de materia activa es proporcional a la capacidad (Ah) que la batería puede suministrar.
- ❖ *Electrolito*: medio conductivo que permite el flujo de corriente mediante transferencia iónica, o la transferencia de electrones entre las placas de la batería. El electrolito puede ser una solución de ácido sulfúrico en forma líquida, como gel o cristalizado o una solución de hidróxido potásico y agua dependiendo del tipo de batería. En muchas baterías es necesaria la

reposición de agua, perdida durante el gaseo en la sobrecarga, la cual debe ser agua destilada.

- ❖ *Rejilla*: Sirve como soporta de la materia activa y en las baterías de Pb-a esta formada por una aleación de plomo. El antimonio o el calcio se suelen utilizar como elementos de aleación para fortalecer la rejilla y definen las diferentes características de la batería (como el ciclado y el gaseo). Dependiendo de la forma de la rejilla se diferencian entre tubulares y planas.
- ❖ *Placas*: Consisten en una rejilla con material activo, a menudo denominado electrodo. En cada célula hay un número de placas conectadas en paralelo a un bus situado en la parte superior de las placas, tanto positiva como negativa. La profundidad de ciclado de una batería depende del grosor de las placas. Las placas muy finas son utilizadas en baterías de arranque dando lugar a una gran superficie de reacción para suministro de altas corrientes en poco tiempo, las placas gruesas permiten descargas profundas sobre largos periodos manteniendo una buena adhesión de la materia activa a la rejilla (larga vida).
- ❖ *Separadores*: material poroso (gomas, plástico..) y aislante que separa las placas positiva y negativa evitando el cortocircuito de las mismas y permitiendo el flujo del electrolito y los iones entre ellas. En algunos casos suelen ser envoltorios evitando el cortocircuito debido a la posible deposición de materia activa en el fondo del contenedor.
- ❖ *Elemento*: Se define como un conjunto de placas positivas y negativas y separadores, montados junto con buses que interconecta las placas positivas y negativas.
- ❖ *Bornes*: Conexiones eléctricas externas (positiva y negativa)
- ❖ *Tapones*: Durante la carga de la batería se producen gases que salen al exterior por los tapones. Existen tapones auto recombinantes que disminuyen la perdida de agua durante el gaseo.
- ❖ *Carcasa o contenedor*: Hechos comúnmente de plástico o goma dura y contiene todos los elementos de la batería. Los contenedores transparentes facilitan el control visual del electrolito.

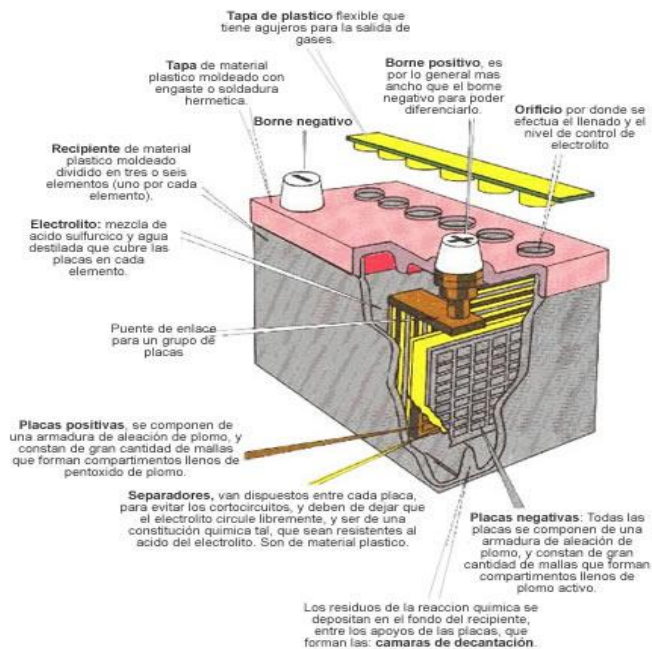


Figura 4. Elementos de una batería

4.4.6.2.1. Tipos de Baterías

Las baterías se clasifican en primarias, que no pueden ser recargadas por lo tanto no se utilizan en sistemas fotovoltaicos y secundarias las que se pueden recargar.

El tipo de baterías más usado en los sistemas fotovoltaicos es el de plomo ácido debido principalmente a su costo comparado con el de otros tipos.

También se clasifican de acuerdo a su funcionalidad y composición.

CLASIFICACION		CARACTERISTICAS
Según su Funcionalidad	Baterías de Arranque	Utilizadas para el arranque del motor de vehículos, por su capacidad de suministro de altas corrientes. Preparadas para ceder mucha intensidad en poco tiempo. Bajo Costo. Solo descargas superficiales.
	Baterías de Tracción	Utilizadas para alimentar motores eléctricos instalados en montacargas, carretillas, vehículos eléctricos, entre otros. Preparadas para cargas y descargas profundas y rápidas. Alto costo en mantenimiento.
		Permanecen largos periodos de tiempo

	Baterías Estacionarias	totalmente cargadas sin entregar energía, resisten descargas profundas y esporádicas. Utilizadas en sistemas de alumbrado de emergencia.
Según su Composición del Electrolito	Batería Plomo Acido con Líquido Aireado	El electrolito se encuentra en estado líquido y es accesible al usuario para así realizar el mantenimiento pertinente. Los tapones del recipiente contenedor suele ser de tipo recombinante para minimizar la pérdida de agua y evitar la emisión de H ₂ .
	Batería de Electrolito inmovilizado	El electrolito se absorbe utilizando fibra de vidrio micro porosa o fibra polimérica; esta fibra rellena el espacio entre placas. No requieren mantenimiento, no desprenden gases, no se derraman, pero no tienen buen funcionamiento ante descargas profundas.
	Baterías Plomo Acido Gelatinosas	Es un tipo de batería en el cual el electrolito no es líquido, sino gelatinoso; esto representa una ventaja debido a que no existen riesgos de derrame de líquidos, es muy utilizada en sistemas fotovoltaicos portátiles, instalaciones marinas, entre otras.
	Baterías Níquel Cadmio	Es muy poco utilizada debido a su alto costo, el cual puede ser de aproximadamente 8 veces el de la de Plomo-Acido; sin embargo, posee una vida útil mucho más extensa y requiere muy poco mantenimiento, por lo cual esta batería representa una ventaja a largo plazo
	Poquetplate	Posee unas placas de acero inoxidable, las cuales poseen unas depresiones donde se coloca el material activo, es muy resistente ante sobrecargas y sobre descargas excesivas. Posee una alta eficiencia a baja temperatura y no posee problemas de sulfatación.

❖ **Baterías de Plomo Acido**

Se pueden clasificar en:

- *Baterías de Arranque:* utilizadas en el sector de arranque para la automoción, proporcionan elevadas corrientes en cortos periodos de tiempo y están diseñadas para ciclos muy poco profundos.
- *Baterías de Tracción:* Se utilizan primordialmente en vehículos eléctricos, están diseñadas para ciclados muy profundos. Tienen un número menor de placas pero más gruesas y están construidas para una mayor durabilidad. Se utilizan rejillas con alto contenido en Plomo Aluminio para mejorar el ciclado profundo.
- *Baterías Estacionarias:* Utilizadas en sistemas de alimentación ininterrumpida (sistemas de ordenadores o telecomunicaciones). Diseñadas para operaciones muy esporádicas y raramente se descargan. Normalmente están en un continuo estado de carga de flotación.
- *Baterías de Pb-Antimonio:* Utilizan antimonio como elemento principal en la aleación con plomo en las rejillas. Lo que proporciona una mayor fortaleza mecánica a las rejillas y altos regímenes de descarga con muy buena profundidad de ciclado. Limitan la pérdida del material activo y tienen un mayor tiempo de vida que las baterías de Pb-Calcio cuando operan a altas temperaturas. Tienen una elevada auto descarga y requieren frecuente adición de agua. La mayoría son de tipo abierto con tapones recombinantes para disminuir el mantenimiento.
- *Baterías de Plomo-Calcio:* Utilizan Calcio como elemento en la aleación de las rejillas. Tienen baja auto descarga y menor gaseo (menor mantenimiento) que las de Pb-Antimonio. Tienen peor aceptación de la carga después de descargas profundas y menor tiempo de vida bajo descargas repetitivas mayores al 25%. No toleran bien la sobrecarga, las descargas muy profundas y la operación a altas temperaturas. Pueden ser de dos tipos: Abiertas o selladas, también denominadas sin mantenimiento en el sentido de que no necesitan que se les añada agua, pero a la vez están limitadas porque si no se les añade agua se reduce su tiempo de vida. Las selladas incorporan la cantidad de electrolito suficiente para su tiempo de vida sin adición de agua.
- *Baterías Híbridas:* normalmente son de tipo abierto, con capacidad en torno a los 200 Ah. Utiliza placas tubulares positivas de calcio y placas planas negativas de antimonio, combinando las ventajas de ambos elementos. Es importante cuidar los posibles problemas de estratificación y sulfatación.

❖ **Baterías de Electrolito Inmovilizado (Gel)**

Es otro tipo de baterías de Pb-Acido, con la característica de tener el electrolito inmovilizado. Son muy sensibles a los métodos de carga, voltajes de regulación y

operación bajo temperaturas extremas. Los tipos más comunes de este tipo de baterías son las baterías de gel y las AGM (absorbed Glass Mat).

Las baterías de Gel suelen utilizar rejillas de Pb-Calcio. Al adicionar dióxido de silicio al electrolito este se gelifica. Utilizan un mecanismo interno de recombinación para minimizar el escape de gases y por tanto reducir las pérdidas de agua. Algunas baterías poseen una pequeña cantidad de ácido fosfórico añadido al electrodo lo que mejora la profundidad de descarga en el ciclado, minimizando la oxidación de la rejilla a bajos estados de carga.

En las baterías AGM el electrolito está en forma cristalina formando capas entre las placas y están especialmente diseñadas para minimizar la pérdida de agua en la sobrecarga.

❖ **Baterías de Níquel-Cadmio (N-Cd)**

Se caracterizan por su larga vida, bajo mantenimiento, no les afectan las sobrecargas excesivas y los voltajes de regulación no son parámetros críticos. El precio es muy superior a las de Pb-Acido.

Los electrodos positivos están hechos de hidróxido de níquel NiO (OH) y los electrodos negativos de Cadmio (Cd), ambos inmersos en una solución de hidróxido potásico (KOH). En el proceso de descarga el hidróxido de níquel cambia a Ni(OH)_2 y el Cadmio se transforma en hidróxido de Cadmio Cd(OH)_2 . La concentración del electrolito no cambia durante la reacción.

Los principales tipos de baterías de Ni-Cd son las de placas Sintered y las de placas Pocked. En las Sintered el electrolito esta inmovilizado y presentan el llamado “efecto memoria” en el cual una batería que es descargada repetidamente hasta solo un porcentaje de su capacidad, eventualmente memorizara este ciclado y limitara descargas mayores dando como resultado una pérdida de su capacidad. En las Pocked se requiere adición periódica de agua pero no presentan el efecto memoria.

4.4.6.2.2. Parámetros de Funcionamiento de una Batería

Capacidad: es la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa, partiendo de un estado de carga total. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga de la batería durante el tiempo en el que está actuando: $C = It$

Eficiencia de Carga: relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. El valor debe ser lo más alto posible. Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

Auto descarga: Proceso mediante el cual la batería sin estar en uso tiende a descargarse.

Profundidad de Descarga: es la cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo de la batería totalmente cargada. Está relacionada con la duración o vida útil de la batería. Si los ciclos de descarga son cortos, la duración de la batería será mayor que si se somete a descargas profundas.

Buena resistencia al ciclado (proceso de carga-descarga): La descarga es el proceso en el que la batería suministra una corriente durante un determinado tiempo (régimen de descarga). En la carga la batería recibe o acepta una determinada corriente durante un tiempo determinado (régimen de carga). Se considera un ciclo como una descarga seguida de una recarga.

Mantenimiento: Cualquier componente del sistema durará más cuanto mayor sea su mantenimiento. Se debe vigilar el nivel de electrolito, manteniendo su concentración y que las placas siempre se encuentren sumergidas en el electrolito. El mantenimiento de los terminales de conexión eléctricos en buen estado, limpios y sin corrosión, permitirá la ausencia de caídas de tensión o sobrecalentamiento y una carga igualitaria.

Temperatura de operación: tiene importantes efectos en el tiempo de vida de la batería. Cuando la temperatura aumenta 10°C las reacciones electrolíticas se doblan dando como resultado la disminución del tiempo de vida de la batería en un 30%. A bajas temperaturas aumenta su tiempo de vida pero disminuye su capacidad. La temperatura afecta más el tiempo de vida de las baterías de Plomo-ácido que el de las de Plomo-antimonio o Níquel-cadmio.

Sobrecarga: produce gaseo excesivo y pérdida de electrolito. El gaseo acelera la erosión de la materia activa de las placas, reduciendo la vida de la batería. El excesivo calentamiento durante la sobrecarga acelera el proceso de corrosión. La sobrecarga se previene utilizando un regulador de carga adecuado. Por otro lado un gaseo controlado puede resultar beneficioso para prevenir la estratificación del electrolito.

Plena carga: Si las baterías se mantienen a estados de carga parciales durante mucho tiempo, se produce sulfatación y se puede perder la capacidad permanente. Los cristales de sulfato pueden crecer y cortocircuitar las placas.

4.4.6.2.3. Rendimiento de las Baterías

Depende del tipo de batería, método de carga, regímenes de carga y descarga, profundidad de descarga y temperatura. El rendimiento es mucho mayor cuando el

estado de carga es bajo y disminuye cuando la batería alcanza su plena carga. El rendimiento total se considera como la suma de un rendimiento de voltaje y un rendimiento de carga.

El rendimiento de voltaje está determinado por los regímenes de carga y descarga y por la temperatura, se expresa como la relación entre el voltaje de la batería durante la descarga y el voltaje durante la carga.

El rendimiento de carga (o culombico) de una batería se define como la relación entre los amperios hora de la batería durante la descarga respecto de los amperios hora durante la carga.

El rendimiento energético total se define como el producto de los rendimientos de voltaje y de carga. Define la relación entre la energía obtenida de una batería durante la descarga respecto a la que es necesario suministrarle para poder volverla a su estado de plena carga.

4.4.6.3. REGULADOR DE CARGA

Es el encargado de controlar la carga de las baterías, así como la descarga y evitar cargas o descargas excesivas. La estrategia de control del regulador determina el proceso de carga de una batería y es responsable de la capacidad del sistema de satisfacer los consumos como de la vida útil de las baterías. Además de lo anterior puede disponer de otras funciones como compensación de la temperatura de la batería, alarmas, monitorización y visualizadores.

El regulador permite aprovechar al máximo la energía suministrada por el generador fotovoltaico, garantiza la protección adecuada y buen servicio de las baterías. El regulador interrumpe el paso de energía cuando la batería se halla totalmente cargada evitando así los efectos negativos derivados de una sobrecarga. En todo momento el regulador controla el estado de carga de la batería para permitir el paso de energía eléctrica proveniente de los paneles cuando esta empieza a bajar.

Para tener en cuenta los posibles picos de irradiancia o los cambios de temperatura, es recomendable que, a la hora de escoger el regulador, sea aquel con un 15-25% superior a la corriente de cortocircuito que le puede llegar del sistema de generación fotovoltaico (I_{entrada}) o bien, de la que puede consumir la carga del sistema (I_{salida}). La elección del regulador será aquel que soporte la mayor de las dos corrientes calculadas.

Habitualmente el regulador funciona por control de la tensión, directamente relacionada con el estado de carga, medida en los terminales de la batería. Se recomienda que esta medida se haga por el método de las cuatro puntas para

descontar las caídas de tensión en los cuatro cables, fusibles u otros elementos que estén entre el regulador y la batería. El método utilizado puede ser de varios tipos, aunque los dos métodos más utilizados son el regulador serie y el regulador paralelo.

El regulador en un sistema fotovoltaico debe ser configurado específicamente en función del tipo de batería, aplicación y condiciones climáticas.

4.4.6.3.1. Funciones de un regulador:

- Prevenir la sobrecarga de la batería. Limitar la energía suministrada a la batería por el generador fotovoltaico cuando la batería está plenamente cargada.
- Prevenir la sobrecarga de la batería. Desconectar los consumos de la batería cuando el estado de la batería es muy bajo.
- Proporcionar funciones de control del consumo. Conectar y desconectar automáticamente los consumos en un momento determinado. Establecer un control de consumos prioritarios.
- Proporcionar información del estado del sistema a los usuarios u operarios mostrando o indicando información como el voltaje y corriente de la batería, estado de carga, alarmas, etc...
- Servir como mecanismo de control para la conexión de otros generadores auxiliares de energía.
- Servir como centro de cableado proporcionando un punto de conexión para otros componentes en el sistema, incluyendo el generador fotovoltaico, la batería y las cargas o consumos.
- Evitar que la batería se descargue completamente.

Los reguladores pueden desempeñar otras funciones como:

- Servir como control de otros generadores auxiliares
- Cargas de ecualización
- Modificación de los puntos de corte
- Regulación de tensión de la carga
- Diseño de los elementos de control
- Condiciones ambientales
- Protección contra sobretensiones
- Caída de tensión
- Autoconsumo.

El regulador a pesar de su sencillez y su bajo costo comparado con el costo total del sistema, es el elemento que está más íntimamente relacionado con la vida útil de la batería y el buen funcionamiento del sistema.

4.4.6.3.2. Datos Específicos de un Regulador

- *Tensión Corte de Sobrecarga, V_{SC}* : es la máxima tensión que el controlador permite que alcance la batería. Cuando el regulador detecta que la tensión de la batería alcanza el valor V_{SC} desconecta el generador o comienza a regular (limitar) la cantidad de corriente que éste suministra a la batería.
- *Tensión de Rearme de Carga, V_{RC}* : es una tensión de histéresis para reconectar el generador para cargar la batería. En los reguladores ON/OFF, una vez se desconecta el generador fotovoltaico a V_{SC} el voltaje de la batería comienza a bajar. La velocidad con la que empieza a bajar depende de varios factores, incluyendo el régimen de carga previa a la desconexión y la descarga de dicada al consumo. Si estos han sido elevados el voltaje bajara más rápidamente que si han sido moderados.
- *Tensión de Corte de Sobre descarga, V_{SD}* : Es el valor mínimo de tensión antes de desconectar el consumo. Para determinar el valor correcto del voltaje de corte de sobre descarga, se han de considerar los regímenes de descarga. Ya que el voltaje está influenciado por el alto régimen de corriente.
- *Tensión de Rearme de Descarga, V_{RD}* : Es el valor de tensión que reconecta el consumo a la batería.

4.4.6.3.3. Reguladores Serie y Paralelo

- **Regulador en Serie:** Se coloca un interruptor en serie entre el generador Fotovoltaico y la batería. Actúa desconectando el generador del acumulador cuando la tensión en carga alcanza cierto valor, evitando la sobrecarga. Incluye un interruptor entre la batería y la carga para evitar la sobrecarga de la batería cortando el suministro de energía cuando la batería se descarga por debajo de cierto umbral.

Los reguladores serie tiene variadas técnicas de control:

- **Control serie simple On/off):** el regulador de carga corta el consumo si la tensión de la batería desciende de un determinado valor, y pone en circuito abierto el generador fotovoltaico si la tensión de la batería supera la tensión de sobrecarga.
- **Control serie, dos estados:** es parecido al anterior, excepto que la regulación del voltaje final de carga ocurre a dos voltajes: inicialmente un voltaje elevado de ecualización y después un voltaje de flotación, lo que permite un gaseo periódico de la batería. Con la corriente de carga ocurre lo mismo, inicialmente se carga a plena corriente y posteriormente se reduce.
- **Control serie lineal:** Se aplica un voltaje constante a medida que la batería se aproxima a V_{SC} utilizando un elemento de control serie

que actúa como una resistencia variable que disipa el excedente energético que se usa para la carga de la batería.

- Control por modulación PWM: Se aplican pulsos de corriente a frecuencia variable de modo que la batería recibe un voltaje de carga constante del generador.
- Control Multietapa: es utilizado en grandes sistemas en los que el generador fotovoltaico completo se divide en varios sub-generadores que se conectan y desconectan gradualmente para bajar la corriente de carga cuando la batería está cerca de plena carga.

➤ Regulador en Paralelo: Funciona por disipación de exceso de energía a través de un transistor o MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) colocado en paralelo con el generador y el sistema de baterías. Cuando la tensión del acumulador está por encima de un valor preestablecido, el dispositivo limita la corriente que llega al acumulador lo que permite una carga más completa de las baterías y un mejor aprovechamiento de la energía de los módulos.

Los reguladores en paralelo se pueden diferenciar entre:

- Control Paralelo (On/Off): Se desconecta el generador cuando se alcanza V_{SC} . Normalmente se utiliza en sistemas con corrientes inferiores a 20 A por problemas de disipación del calor. El autoconsumo de estos es menor que el de los reguladores serie con relés.
- Control Paralelo Lineal (diodo zener): Se utiliza un elemento de control para mantener la batería en V_{SC} cuando se aproxima a plena carga. Se instala en paralelo con la batería un diodo Zener con un voltaje de polarización inversa igual a V_{SC} . Cuando la batería alcanza V_{SC} el diodo conduce, desviando tanta corriente como sea necesario para mantener al sistema en carga flotante.
- Control PWM paralelo: Con dispositivos de alta frecuencia en los que se varía el tiempo de conmutación para controlar la corriente que da carga a la batería, manteniéndola a V_{SC} , reduciéndose los problemas de disipación de calor.

➤ Regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking): llevan incorporado un seguidor del punto de máxima potencia y un convertidor CC-CC, que transforma una corriente continua de alta tensión a una continua de baja tensión para cargar la batería. Los reguladores MPPT trabajan a la tensión que más les conviene a diferencia de los PWM. Es decir, en algunos momentos trabajará a la máxima potencia, para sacar la mayor cantidad de

energía, o bien limitará la potencia en las fases de absorción y flotación durante la carga de la batería evitando sobrecargas.

Estos reguladores sacan más rendimiento a los módulos fotovoltaicos y permiten la utilización de paneles que no se pueden emplear con los reguladores PWM debido a cuestiones de compatibilidad de la tensión del panel y la batería. También presenta otras ventajas como la posibilidad de añadir paneles en serie con un voltaje total superior al del banco de baterías. Se consiguen reguladores MPPT hasta de 80 A y por lo general ofrecen más garantía que los PWM.

Ventajas de los reguladores MPPT:

- Ofrecen un potencial de incremento en la eficiencia de carga de hasta un 30% (típicamente se puede considerar al menos el 15%)
- Ofrecen la posibilidad de colocar paneles en serie a voltajes superiores al banco de baterías.
- Están disponibles hasta de 80A.
- La garantía es mayor que la de los reguladores PWM.
- Ofrecen mayor sensibilidad para el crecimiento del sistema.

Desventajas de los reguladores MPPT:

- Los reguladores MPPT son más costosos, a veces incluso doblan el precio de los reguladores PWM.
- Son más grandes.

A la hora de elegir entre un regulador PWM y un regulador MPPT, las instalaciones pequeñas como el alumbrado de una pequeña vivienda o el suministro a unos pocos electrodomésticos, es mejor la utilización de un regulador PWM. Si por el contrario la instalación es de mayores dimensiones y va a proporcionar mucha potencia, lo mejor es utilizar un regulador MPPT, que además, ayuda a un mejor mantenimiento de las baterías, otra pieza clave en nuestra instalación fotovoltaica.

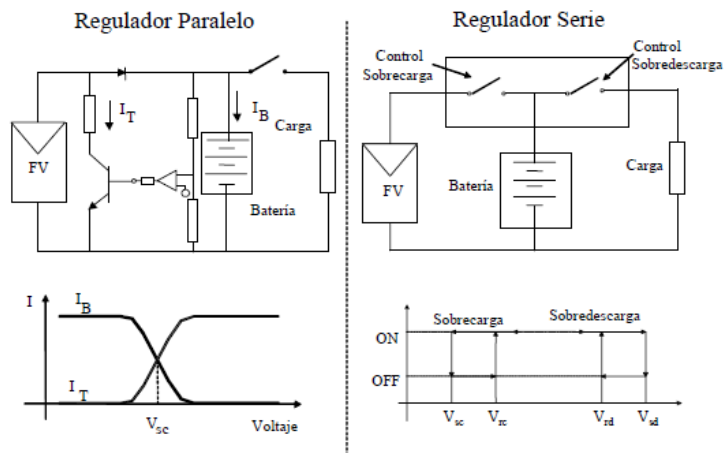


Figura 5. Esquema de operación de los reguladores serie y paralelo

4.4.6.4. INVERSOR

Es el encargado de convertir la corriente Continua (DC) en corriente alterna (AC) con magnitud y frecuencia deseadas. Tanto el voltaje de entrada como la frecuencia de salida pueden ser fijos o variables. Esto generalmente se hace utilizando algún tipo de modulación, como la modulación por ancho de pulso (PWM) que permite controlar tanto la ganancia como la frecuencia del inversor.

Habitualmente en sistemas fotovoltaicos autónomos el inversor está conectado a la una batería, mientras en un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica el inversor está conectado directamente al generador fotovoltaico.

Las principales funciones de los inversores son: inversión DC/AC, modulación de la onda alterna de salida y regulación del valor eficaz de la tensión de salida. Normalmente se encuentran inversores monofásicos o trifásicos a 50 Hz, con diferentes voltajes nominales de entrada con un amplio rango de potencias disponibles, de unos pocos vatios hasta varios megavatios. Pueden operar conectados a baterías o directamente al generador fotovoltaico y pueden estar conectados a diferentes consumos o inyectar energía en la red eléctrica.

4.4.6.4.1. Clasificación de los inversores

Los inversores se pueden clasificar desde varios puntos de vista:

Según el semiconductor que se implemente en los interruptores

- Tiristores: se pueden clasificar en Inversores de Bloqueo Natural o Forzado (con fuente inversa de tensión o de corriente)

- Transistores: se dividen a su vez en auto excitados o con excitación independiente.

Según las características de salida:

- Medio Puente
- Puente Completo Monofásico
- Puente Completo Trifásico

Según sus características de entrada:

- Inversor alimentado en voltaje
- Inversor alimentado en corriente

Para el caso de inversores con transistores, se puede establecer otra clasificación basándose en el método de excitación de la base de los transistores que configuran la topología de potencia:

- ❖ Inversores de Onda Cuadrada
- ❖ Inversores de Onda modificada o quasi-senoidal
- ❖ Inversores de Onda Sinodal Pura (PWM)

Inversores de Onda Cuadrada: Se basan en un simple “chopeado” de la potencia DC de entrada, con muy poca modulación o filtrado. La resultante tiene un gran contenido en armónicos no deseados. La distorsión armónica total (THD) es muy elevada, en torno al 40%, lo que puede llegar a quemar dispositivos electrónicos delicados o incluso motores, y su rendimiento está en torno al 50-60%. La potencia de sobrecarga es baja, del 10-20% de la potencia nominal. La regulación del voltaje es muy baja. Se suelen usar con pequeñas cargas inductivas o resistivas, aunque algunos tipos de cargas pueden no operar satisfactoriamente. Estos inversores son los más económicos del mercado, sirven para conectar pequeños aparatos electrónicos.

Inversores de Onda Modificada o quasi-senoidal: presenta una THD del 20 % y su rendimiento es mayor al 90%. Se utilizan en electrificación rural para alimentar los electrodomésticos más usados al igual que ordenadores y equipos musicales. Algunas cargas pueden presentar problemas de operación con este tipo de inversores como impresoras láser, microondas o relojes. Utilizan técnicas de modulación de ancho de impulso, son más sofisticados y costosos, el ancho de onda es modificado para acercarlo a una onda senoidal, el contenido de armónicos es menor que en la onda cuadrada. Este tipo de inversores es el más utilizado, operan prácticamente en cualquier tipo de aparato electrónico y su precio es competitivo.

Inversores de Onda Senoidal Pura: Tienen un cuidadoso filtrado de la señal generada. Son la mejor opción para la alimentación de cargas AC, No presentando ningún problema en relación con la THD o estabilidad de la tensión.

Tienen una electrónica más elaborada, la incorporación de microprocesadores permiten funciones de telecontrol, medición de energía consumida, selección de batería, algunos motores de inducción y aparatos de control o equipo médico requiere este tipo de inversor, el costo es mayor que el de onda cuadrada y onda quasi-senoidal. Estos inversores se están imponiendo sobre el resto de inversores, incluso para aplicaciones más simples.

Este tipo de inversor se usa en instalaciones fotovoltaicas aisladas, vehículos especiales que requieren suministro de corriente alterna y en embarcaciones de recreo y profesionales.

4.4.6.4.2. Configuración de los Inversores

En los inversores fotovoltaicos los semiconductores de potencia normalmente utilizados son: Los tiristores (SCR y GTO) y los transistores de potencia (MOSFETs, bipolares e IGBT). A mayor frecuencia de conmutación se obtiene una onda de salida mucho más cercana a la senoidal ideal con menor contenido en armónicos y factores de potencia mayores, eliminando la necesidad de filtrados a la salida del inversor.

Los GTO pueden llegar a frecuencias de 10^3 Hz y potencias de 10^9 W. Los IGBT 10^5 Hz y 10^6 W y los MOSFET 10^8 Hz y 10^5 W.

Los inversores usados en las aplicaciones fotovoltaicas se pueden agrupar o dividir en dos grandes categorías: los Auto conmutados que pueden funcionar como fuente de tensión o como fuente, se pueden utilizar tanto en aplicaciones autónomas como en aplicaciones conectadas a la red eléctrica. Los Conmutados por la red solo funcionan como fuente de corriente por lo que solo pueden ser usados en aplicaciones conectadas a la red eléctrica.

Los inversores auto conmutados pueden operar de modo autónomo. La regulación de tensión suele realizarse por modulación del ancho de pulso (PWM). Conmutan a alta frecuencia por lo que la señal de salida suele ser muy sinusoidal con contenido de armónicos de muy alta frecuencia, fácilmente filtrables.

Los inversores conmutados por red basados en tiristores necesitan la presencia de la señal de tensión de red que se utiliza para el disparo de los semiconductores. Deben operar con ondas de corriente retrasada respecto de la onda de tensión de red por lo que necesitan unidades de compensación de potencia reactiva. Este tipo de inversores cada vez se usa menos y están siendo sustituidos por los

inversores basados en dispositivos auto conmutables, habitualmente el IGBT con un control PWM controlado en corriente.

Las características de operación más destacadas de los inversores son:

- Voltaje y corriente de entrada/salida
- Tipo de forma de onda (cuadrada, cuadrada modificada o sinusoidal)
- Límites del voltaje de entrada. Se diseñan para un voltaje de entrada determinado (12V, 24 V) con límites superior e inferior de variación del voltaje.
- Bajo auto consumo y alto rendimiento.
- Distorsión armónica total (THD). Cuanto menor THD menor ruido e interferencias. Tener en cuenta el factor de potencia de operación de las cargas.
- Potencia de salida. Referida como potencia continuada de operación.
- Capacidad de sobrecarga. Importante en el caso de arranque de 3 a 7 veces el nominal.
- Regulación de tensión de salida, independiente de la tensión de entrada y del consumo.
- Regulación de la frecuencia de salida.
- Facilidad de reparación y mantenimiento.
- Umbral de arranque ajustable (nivel mínimo de carga para que el inversor arranque)
- Una característica deseable es la capacidad de operar en paralelo adaptándose a la modularidad de los sistemas fotovoltaicos o facilidad de aumentar la potencia disponible (simplemente aumentando el número de módulos fotovoltaicos y/o la capacidad de la batería). Esta operación en inversores autónomos requiere una operación en modo “maestro-esclavo” para sincronía de las ondas de tensión generadas por los distintos inversores.

4.4.6.4.3. Rendimiento

En los inversores autónomos el rendimiento de conversión DC/AC depende del tipo de carga (resistiva, capacitiva o inductiva) a ellos conectada. El rendimiento no es constante en todo el rango de potencia de operación, varía dependiendo de la potencia generada siendo muy bajo a muy bajas potencias y aumentando progresivamente a medida que aumenta la potencia. Es importante anotar que la curva de rendimiento cae rápidamente para pequeñas potencias.

5. ESTUDIO FINANCIERO

Se determina el valor de los recursos necesarios para la ejecución del proyecto, los costos totales de operación del proceso productivo y el valor de los ingresos que se aspira recibir en cada uno de los periodos de vida útil.

Los datos registrados en los componentes del estudio financiero, estudio de mercados, estudio técnico y estudio organizacional, son los que determinan la viabilidad económica del proyecto.

El estudio se desarrolla solo cuando existe un mercado potencial que el proyecto pueda cubrir y cuando tecnológicamente ha sido determinado factible.

5.1. EVALUACION DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

Proceso que surge de la necesidad de valerse de un método racional que permita cuantificar las ventajas y desventajas de asignar recursos a una iniciativa o proyecto que surge como una solución a un problema.

Es un proceso que permite emitir un juicio sobre la conveniencia y confiabilidad del proyecto a partir de unos resultados¹⁴.

- **Factibilidad**

Es el análisis que realiza una empresa para determinar si el proyecto que se propone será bueno o malo, y que estrategias que se deben desarrollar para que sea exitoso.

- **Rentabilidad**

Es la capacidad de generar utilidad o ganancia a partir de un dinero invertido. Se puede representar en forma relativa (en porcentaje) o en forma absoluta (en valores).

5.1.1. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Los principales criterios que se tienen en cuenta a la hora de evaluar un proyecto son:

¹⁴ <http://www.javeriana.edu.co/decisiones/Julio/presentaciones/Matfin.pdf>

5.1.1.1. Ingresos del Proyecto

Es la cantidad de dinero que recibe la empresa por suministrar bienes o servicios. También es llamado volumen de negocios

5.1.1.2. Inversión en el Proyecto

Es la colocación de capital para obtener una ganancia futura, por lo tanto, es una propuesta de acción que, a partir de la utilización de los recursos disponibles, considera posible obtener ganancias. Estos beneficios, que no son seguros, pueden ser conseguidos a corto, mediano o largo plazo.

5.1.1.3. Gastos de Operación

Hace referencia al dinero desembolsado para el desarrollo de las actividades del proyecto. En otras palabras, los gastos de operación son aquellos destinados a mantener un activo en su condición existente o a modificarlo para que vuelva a estar en condiciones apropiadas de trabajo.

5.2. INDICADORES A UTILIZAR:

5.2.1. TIO (Tasa interna de Oportunidad)

Es la tasa de interés mínima a la que el inversor, está dispuesto a ganar al invertir en un proyecto. Se utiliza para determinar el valor actual neto de los flujos futuros de caja del proyecto y es la rentabilidad mínima que se le debe exigir al proyecto para renunciar a un uso alternativo de los recursos en otro proyecto.

Puede pasar que las técnicas y herramientas utilizadas para desarrollar y evaluar un proyecto en cada uno de los estudios sean las más apropiadas, pero si se utiliza una TIO inadecuada, puede conducir a interpretaciones falsas

Esta tasa es demasiado importante en los proyectos pero a veces no se le da la suficiente importancia. Es una tasa que varía de una persona a otra y más aún, para la misma persona, varía de tiempo en tiempo.

$$TIO = DTF - IPC + iI + iE$$

DTF: Deposito a Terminio Fijo

IPC: Indice de Precios al Consumidor

iI: Interés del inversor

iE: Interés que aspira el empresario

5.2.2. VPN (Valor Presente Neto):

Es el indicador más importante para determinar si el proyecto es viable desde el punto de vista económico, pone en pesos de hoy los ingresos (+) y los egresos (-). Es el valor medido en pesos de hoy o el equivalente en pesos actuales de todos los ingresos y egresos presentes y futuros que constituyen el proyecto. El Valor presente de un proyecto es la ganancia que genera el proyecto en pesos.

- Si el $VPN > 0$, El proyecto es viable. El proyecto generara ganancias y la inversión se acepta.
- Si el $VPN < 0$, El proyecto no es viable, los ingresos son menores que los egresos. El proyecto genera pérdidas, la inversión se rechaza.
- Si el $VPN = 0$, Los ingresos son iguales a los egresos, es indiferente el proyecto.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Presente Neto es:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

V_t : Representa los flujos de caja en cada periodo t.

I_0 : Es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n : Es el número de períodos considerado.

k : d o TIR es el tipo de interés.

5.2.3. TIR (Tasa Interna de Retorno):

Es la tasa en la que los flujos de entrada y de salida de un proyecto traídos a valor presente se igualan, es la tasa en la cual el VPN se iguala a cero.

Se llama tasa interna de rendimiento porque supone que el dinero que se gana año a año se reinvierte en su totalidad. Es decir es la tasa de rendimiento generada en su totalidad en el interior de la empresa por medio de la reinversión.

$$VPN = \frac{\sum R_t}{(1+i)^t} = 0$$

t: tiempo del flujo de caja

i: tasa de descuento (la tasa de rendimiento que se podría ganar en una inversión en los mercados financieros con un riesgo similar) .

R_t : el flujo neto de efectivo (la cantidad de dinero en efectivo, entradas menos salidas) en el tiempo t. Para los propósitos educativos, R_0 es comúnmente colocado a la izquierda de la suma para enfatizar su papel de (menos) la inversión.

5.2.4. Tasa Costo/beneficio

Consiste en poner en valor presente los beneficios o utilidades netas derivadas entre los costos del proyecto, la tasa depende de quién ejecute el proyecto, mide la relación entre los costos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por cada peso invertido en el proyecto.

La Tasa Costo/Beneficio puede tomar los siguientes valores:

C/B < 1 Los ingresos son menores que los costos, es proyecto no es viable.

C/B = 1 En VPN los ingresos son iguales a los egresos, se gana la tasa del inversionista, el proyecto es indiferente.

C/B > 1 En VPN los ingresos son mayores que los egresos, el proyecto es viable.

El Banco Mundial, BID, FMI, etc. Evalúan los proyectos en C/B junto con el VPN. La relación costo-beneficio (C/B), también se conoce como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.

$$B/C = \frac{VAI}{VAC}$$

5.2.5. Pay Out (Tiempo en el que se recupera la inversión):

Es el reparto de beneficios que en un momento determinado, decide realizar una empresa a sus accionistas. Dicho de otra manera, reparto de dividendos, siempre dentro de un determinado mercado financiero y de un periodo de tiempo determinado, esta política ayuda a conocer la rentabilidad de la empresa, y se debe valorar en función del horizonte temporal de su inversión, de sus expectativas de dividendos y de lo que supone de refuerzo de la estructura financiera de la empresa el incremento de sus reservas.

El "Pay Out" se determina de la siguiente manera:

$$Pay\ Out = \frac{Dividendo\ Anual\ de\ la\ Accion}{Beneficio\ neto}$$

5.2.6. Dividendos

Es la retribución a la inversión que una sociedad otorga a sus accionistas según la cantidad de acciones de cada uno. El dividendo se paga con recursos que se

originan en las utilidades de la empresa durante un cierto periodo y puede pagarse tanto en dinero como en más acciones.

Las empresas más estables eligen mantener el equilibrio reinvertiendo un porcentaje y pagar el resto como dividendos, lo que puede hacerse en efectivo o en forma de acciones.

Los dividendos pueden compensar el precio de una acción que no se mueve demasiado, proporcionándoles en cambio a los accionistas un ingreso. Las compañías consideradas de 'alto crecimiento' generalmente no ofrecen dividendos, dado que reinvierten los beneficios para mantener su crecimiento ampliando el negocio. En este caso, la recompensa para los accionistas es un precio de las acciones mayor del esperado.

Por lo general, las empresas que pagan dividendos en efectivo lo hacen semestralmente, aunque en ocasiones pueden decidir pagar un dividendo extraordinario.

Cada vez que una empresa paga un dividendo debe ser declarado oficialmente por la Junta Directiva.

5.2.7. Beneficio Neto

Es la cantidad de dinero del que puede disponer una empresa tras haber hecho frente a sus obligaciones en forma de impuestos o gastos. Se le conoce como resultado del ejercicio.

El cálculo del beneficio neto se obtiene al deducir todos los gastos y deudas de los ingresos.

Beneficio neto = Beneficio bruto – impuestos – intereses – depreciación – gastos generales

En el mundo financiero suele utilizarse el concepto de beneficio neto como una especie de medidor sobre la situación económica o de funcionamiento de las empresas.

5.2.8. WACC (Costo Capital)

El WACC (del inglés Weighted Average Cost of Capital), es una tasa de descuento que mide el coste de capital entendido éste como una media ponderada entre la proporción de recursos propios (fondos propios o acciones) y la proporción de recursos ajenos (pasivo o deudas). El Costo Promedio Ponderado de Capital, o WACC, es la estimación del costo de oportunidad a partir del costo de cada una de las fuentes de financiación utilizadas (ya sea mecanismos de deuda o de patrimonio (Equity)).

El WACC o CPPC (Costo Promedio ponderado de Capital)se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$WACC = K_e \frac{CAA}{CAA+D} + K_d(1-T) \frac{D}{CAA+D}$$

Dónde:

K_e: Cost of equity, es decir, lo que le cuesta a la empresa financiar sus recursos propios provenientes de accionistas, o lo que es lo mismo, la tasa de retorno que exige el accionista para el riesgo de esa empresa. También se puede encontrar bajo el nombre de tasa de costo de oportunidad de los accionistas. Generalmente se utiliza para obtenerla el método CAPM.

CAA: Capital aportado por los accionistas, en algunos casos se encuentra representado por E (por su denominación en inglés *Equity*)

D: Deuda financiera contraída

K_d: Costo de la deuda financiera. Para su cálculo, se halla un tipo medio, siendo éste una media de todos los tipos de interés que paga la empresa ponderados por su peso en el balance con respecto al total de la deuda.

T: Tasa de impuesto a las ganancias. El hecho de incluir los impuestos en la ecuación tiene una explicación muy sencilla: el beneficio fiscal que se produce (*tax shield* en inglés). En muchas economías, entre ellas la nuestra, los intereses son fiscalmente deducibles, por tanto cuanto más deuda tengamos se entiende que menos impuestos se tienen que pagar y eso se traduce en el modelo DCF como una "no salida de caja".

El WACC se usa principalmente como tasa de descuento en el modelo de valoración de empresas DCF (Discounted Cash Flow). Este modelo básicamente valora las empresas en función de los flujos de caja tanto presentes como futuros. Para ellos los descuenta a un tipo o coste de oportunidad que es el WACC. La razón fundamental de esta operación de "descontar" es una de las reglas básicas en las finanzas: el valor del dinero no es el mismo hoy que en el futuro.

5.2.9. Flujo de Caja Libre (FCL)

Consiste en la cantidad de dinero disponible para cubrir la deuda o repartir dividendos, una vez se hayan deducido el pago a proveedores y las compras del activo fijo (construcciones, maquinaria...). es el saldo de tesorería que se encuentra libre en la empresa, es decir, el dinero disponible una vez que se han atendido los pagos obligatorios.

El Flujo de Caja Libre se utiliza para remunerar a los accionistas mediante dividendos o para amortizar la deuda y satisfacer los intereses.

Cálculo del Flujo de Caja Libre a partir de sus principales componentes, suponiendo que la empresa no tiene deudas:

- + Ingresos operativos
- Costes operativos
- = Beneficio antes de intereses, impuestos y amortizaciones (EBIDTA)
- Amortizaciones
- = Beneficio antes de intereses e impuestos (BAIT)
- Impuestos sobre el BAIT
- = Beneficio antes de intereses, después de impuestos (BAIDT)
- + Amortizaciones
- = Flujo de Caja Bruto (FCB)
- Inversión Bruta (IB)
- = Flujo de Caja Libre (FCL)

Donde, la Inversión Bruta es:

- + Aumento del capital circulante
- + Inversión en activo fijo
- + Inversión neta en otros activos

Este es el Flujo de Caja Libre Operativo que debe ser igual al Flujo de Caja Libre Financiero. El FCL se puede calcular de otra manera:

- + Intereses después de impuestos
- Variación del endeudamiento
- + Dividendos
- + Aumento de la inversión financiera temporal
- Variación del capital social
- = Flujo de Caja Libre (FCL)

El análisis del valor actual de los FCL permite obtener el valor de una empresa o proyecto de inversión en varios escenarios, a través de un análisis de sensibilidad de las variables que intervienen¹⁵.

¹⁵ <http://cienciasempresariales.info/flujo-de-caja-libre/>

5.2.10. Flujo de caja de Propietario (FCP):

El Flujo de Caja del Accionista o Propietario es lo que le deja el proyecto al accionista, luego de cubrir sus costos pagar sus impuestos, ejecutar las inversiones necesarias para la marcha del negocio (hasta aquí es el FCL) y pagar a los acreedores. Lo que queda de efectivo, el accionista se lo puede meter al bolsillo sin ningún problema, pues ya cumplió con todos: trabajadores y proveedores (costos), Estado (impuestos), proyecto (inversiones) y acreedores (pago de deudas).

$$FCA = FCL - \text{Servicio de la deuda} + EFI \quad 9$$

Dónde:

FCA Flujo de Caja para el accionista

FCL: Flujo de caja libre

Servicio de la deuda

EFI: Escudo Fiscal de los Intereses

5.2.11. EBITDA (Earnings Before Interests, Taxes, Depreciation and Amotizations)

El EBITDA es uno de los indicadores financieros más conocidos, e imprescindible en cualquier análisis fundamental de una empresa, aunque no forma parte del estado de resultados de una compañía, está muy relacionado con él.

Indica la capacidad de una empresa para generar beneficios considerando únicamente su actividad productiva, sin tener en cuenta los gastos financieros, los impuestos y demás gastos contables que no implican salida de dinero en efectivo, como las depreciaciones y las amortizaciones, para mostrar así lo que es el resultado puro de la empresa.

Se calcula a partir del resultado final de explotación de la empresa, sin incorporar los gastos por intereses e impuestos, ni las disminuciones de valor por amortizaciones o depreciaciones, con el objetivo último de mostrar el resultado puro de explotación de la empresa. Por este motivo, los elementos financieros (intereses de la deuda), tributarios (impuestos), cambios de valor del inmovilizado (depreciaciones) y de recuperación de la inversión (amortizaciones) deben quedar fuera de este indicador.

Su importancia radica en la sencillez de su cálculo, es importante hacer algunas aclaraciones que pueden llevar a una mala interpretación del mismo:

El objetivo del EBITDA no es el de medir la liquidez generada por la empresa, ya que aunque este indicador deduce de su cálculo las provisiones y amortizaciones,

no incluye otras salidas de tesorería como los pagos financieros tanto por intereses como por la devolución del principal de los préstamos o las ventas y compras que aún no se han hecho efectivas.

Al eliminar las amortizaciones productivas no tiene en cuenta las inversiones productivas realizadas ni en el pasado ni en el período actual.

Al no considerar el endeudamiento de la empresa, es posible que un elevado EBITDA sea consecuencia de un elevado grado de apalancamiento, por lo que la capacidad real de obtener beneficio puede verse reducida de forma considerable.

Si el EBITDA de un proyecto es positivo, indica en un principio si un proyecto puede ser o no rentable, y una vez el EBITDA sea positivo, el que el proyecto sea rentable o no depende de la gestión que cada uno realice respecto a las políticas de financiamiento, de tributación, de amortización y depreciación.

Un proyecto con un EBITDA negativo, evidentemente el resultado final será negativo, por tanto, esto sería suficiente para descartar un proyecto.

El EBITDA, como todos los indicadores financieros, por sí solos no son una medida suficiente para determinar si un proyecto es o no rentable, sino que se debe evaluar junto con otros indicadores que evalúen otros aspectos sensibles de un proyecto.

El EBITDA, no es una medida confiable cuando se trata de un proyecto que esté altamente financiado por recursos externos ya que esto implica en altos costos financieros, de modo que el éxito del proyecto, estará en buscar una solución a los costos financieros y esto no se refleja en el EBITDA. Esta herramienta debe ir acompañada por su indicador llamado margen de EBITDA.

UTILIDAD ANTES DE INTERES, IMPUESTO, DEPRECIACION Y AMORTIZACION		
		Año 1
+	INGRESOS OPERACIONALES (Ventas)	
-	Costos Variables	
=	Margen de contribución	
-	Costos Fijos	
	Utilidad operativa antes de interés e impuesto	
+	Depreciación	
+	Amortización de diferidos	
=	EBITDA	

5.2.11.1. ¿Qué es el margen de EBITDA?

Es un indicador de eficiencia operacional que representa los centavos que por cada peso de ingreso se convierten en caja con el propósito de atender el pago de impuestos, apoyar las inversiones, cubrir el servicio de la deuda y repartir utilidades.

Se expresa como el porcentaje de los ingresos que se obtienen mediante la relación entre el EBITDA obtenido y los ingresos operacionales arrojados en el estado de resultados. La fórmula se ve así:

$$\text{Margen de EBITDA} = \text{EBITDA} / \text{Ingresos operacionales} = \%$$

5.2.12. EVA (Índice de Rentabilidad Real)

Es un modelo que cuantifica la creación de valor que se ha producido en una empresa durante un determinado período de tiempo. Una compañía crea valor cuando es capaz de lograr inversiones que renten más que el costo de capital invertido.

Sirve para medir la verdadera rentabilidad de una empresa y para dirigirla correctamente desde el punto de vista de los propietarios o accionistas. Una de sus virtudes es identificar las áreas donde se crea valor y se destruye valor. Es una guía para conocer si la riqueza generada por una empresa es suficiente para sostener las inversiones y el costo de financiamiento.

El EVA tiene las siguientes características:

- Es fácil de calcular
- Contempla el riesgo empresarial
- Tiene en cuenta todos los costos financieros, tanto de los recursos propios como ajenos.
- Se puede aplicar por áreas de negocio
- Valora en cierta medida la liquidez de la empresa
- Se puede utilizar como herramienta para la evaluación de los responsables

Para incrementar el EVA se tiene lo siguiente:

- Mejorar las utilidades operativas sin adicionar capital en la empresa.
- Disponer de más capital como si fuera una línea de crédito siempre que los beneficios adicionales superen el costo de capital.

- Liberar capital cuando en definitiva no sea posible generar beneficios superiores al costo del mismo.

Ventajas

- Proveer una medición para la creación de riqueza que alinea las metas de los administradores de las divisiones o plantas con las metas de la compañía
- Permite identificar los generadores de valor en la empresa
- Combina el desempeño operativo con el financiero en un reporte integrado que permite tomar decisiones.
- Permite determinar si las inversiones de capital están generando un rendimiento mayor a su costo

Existen algunas desventajas como las siguientes:

- Dificultad en el cálculo del costo de capital
- Se dificulta la implementación en las economías con altas tasas de interés, que hacen difícil obtener rentabilidades operativas superiores a aquéllas.
- Debe considerarse que inicialmente se calcula con cifras a partir de las utilidades contables; esto requiere complementar su análisis con el efectivo generado en la empresa.
- Las cifras de la información contable como son las del balance general, el estado de resultados y el flujo de efectivo exigen un proceso de depuración en términos económicos y financieros para llegar a una cifra del EVA razonable y confiable.

El método más usado para calcular el EVA es el siguiente:

$$EVA = (r - \text{Costo de Capital}) * \text{Capital Invertido} \quad (12)$$

Dónde:

r = rendimiento del Capital Invertido

Dónde:

$$r = \text{Flujo de Caja Disponible} / \text{Capital Invertido}$$

Capital Invertido = Activos en operación

Otra forma de calcular el EVA es usando el método residual, donde se le resta a la utilidad operativa después de impuestos, el resultado de multiplicar el capital invertido por el costo del capital.

$$EVA = UODI - (\textit{capital Invertido} * \textit{Costo de Capital})$$

UODI = Utilidad Operativa Después de Impuestos

6. NORMATIVIDAD

Los sistemas fotovoltaicos en su conjunto, son los primeros acusados cuando algo funciona mal; sin embargo, es frecuente que sean precisamente los componentes no estrictamente fotovoltaicos los responsables de los fallos. La razón principal de esto estriba en el diferente grado de estandarización y certificación entre los módulos fotovoltaicos y el resto del sistema. Mientras para los módulos existen normas reconocidas internacionalmente y que se aplican con rigor y generalidad, para el resto de los componentes del sistema el vacío en la normativa es notable, a su correcta combinación y a la instalación, aunque estos componentes tengan una influencia drástica sobre la satisfacción de los usuarios y los costos de operación.

Los sistemas fotovoltaicos que funcionan en Colombia deben cumplir con las características técnicas exigidas en el Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 y los requerimientos de seguridad del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. También existe la Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos que recopila las normas de diferentes países como Francia, Alemania, España, India, USA, Brasil y México entre otros

6.1. CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO NTC 2050

El Código Eléctrico Colombiano es una herramienta fundamental para el sector eléctrico nacional en general y para los profesionales que se desempeñan en esta área, ya que establece los requisitos que unos deben solicitar y otros deben aplicar, brindando transparencia en los procesos de contratación y calidad en la ejecución de los trabajos, todo enfocado al beneficio de los clientes y usuarios.

Cualquier análisis que pretenda realizarse en el campo científico y tecnológico, debe obligatoriamente enmarcarse en los parámetros de la globalización establecidos a nivel mundial. Es por esta razón que el Código Eléctrico Colombiano se basó en parámetros aplicados y validados mundialmente para materializar las necesidades nacionales en aspectos de seguridad para las instalaciones eléctricas en construcciones. Además propende por la racionalización de la energía obedeciendo a la necesidad de preservar sus fuentes como uno de los objetivos medioambientales para evitar su agotamiento.

El Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 en su sección 690 trata sobre los Sistemas Solares Fotovoltaicos donde se muestra su aplicación a los sistemas fotovoltaicos incluidos los circuitos eléctricos, unidad o unidades de regulación y controladores de dichos sistemas. Los sistemas solares fotovoltaicos a los que se refiere esta Sección pueden ser autónomos y tener o no acumuladores o estar interconectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica. La salida

de estos sistemas puede ser de corriente continua o de corriente alterna.

Los literales tratados en esta sección son los siguientes:

- A. Generalidades: Artículos 690-1 a 690-5
- B. Requisitos de los Circuitos: Artículos 690-7 a 690-9
- C. Medios de Desconexión: Art. 690-13 a 690-18
- D. Métodos de Alambrado: Art. 690-31 a 690-34
- E. Puesta a Tierra: Art. 690-41 a 690-47
- F. Rotulado: Art. 690-51 a 690-52
- G. Conexión a Otras Fuentes de Energía: Art. 690-61 a 690-64
- H. Baterías de Acumuladores: Art. 690-71 a 690-74

Si se utilizan sistemas fotovoltaicos interconectados a otras fuentes de generación de energía se deben instalar de acuerdo a lo establecido en la sección 705, Fuentes de Generación de Energía Eléctrica Interconectadas.

6.2. REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS RETIE

En el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE se establecen los requisitos que garanticen los objetivos de protección contra los riesgos de origen eléctrico, para esto se han recopilado los preceptos esenciales que definen el ámbito de aplicación y las características básicas de las instalaciones eléctricas y algunos requisitos que pueden incidir en las relaciones entre las personas que interactúan con las instalaciones eléctricas o el servicio y los usuarios de la electricidad.

El objeto fundamental de este reglamento es establecer las medidas que garanticen la seguridad de las personas, de la vida animal, vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos.

Es un instrumento técnico-legal que permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos:

- La protección de la vida y la salud humana.
- La protección de la vida animal y vegetal.
- La preservación del medio ambiente.
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.

Este reglamento aplica a las instalaciones eléctricas, a los productos utilizados en ellas y a las personas que las intervienen.

6.3. NORMA TECNICA UNIVERSAL PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMESTICOS

Este documento es el resultado de un trabajo orientado a cubrir el vacío que existe en normativa para los otros componentes de los sistemas Fotovoltaicos. Ha sido financiado por el programa Thermie-B (ref. SUP 99596) de la Comisión de la Unión Europea, y su presentación pretende que pueda servir de base a una Norma técnica de carácter universal para sistemas fotovoltaicos domésticos.

Una revisión preliminar de normas técnicas, o similares, existentes en el panorama internacional reveló un gran número de inconsistencias entre ellas. Las más notables diferencias se dan en los enfoques para el dimensionamiento de los sistemas y para especificar tipos de módulos fotovoltaicos, tipos de baterías, tensiones de trabajo de los reguladores, información operativa para los usuarios, caídas de tensión, medidas de seguridad y requisitos para balastos, cables y conectores.

Esta norma es considerada como universal porque todas las normas existentes con anterioridad proveyeron información extremadamente útil para su realización, donde se tuvieron en cuenta los comentarios de gran cantidad de expertos en el tema. Además que tuviera flexibilidad para adaptarla a las condiciones particulares de cada país (clima, fabricación local, mercado interno, capacidades locales, etc.).

Con el fin de satisfacer esta demanda los requisitos que contiene han sido clasificados en tres categorías diferentes:

Obligatorios: con el símbolo (C), son aquellos que pueden afectar directamente la seguridad o la confiabilidad. Su falta de cumplimiento puede acarrear daños personales o fallos del SHS, por lo tanto constituyen un mínimo de requisitos que deben ser satisfechos en cualquier lugar del mundo y situación.

Recomendados: con el símbolo (R) son aquellos que normalmente conducen a optimizar los sistemas. La mayoría son de aplicación Universal y de su incumplimiento se derivan incrementos en los costos. Sin embargo, como las consideraciones económicas pueden depender de las condiciones locales, su aplicación debe ser analizada en cada caso particular.

Sugeridos: con el símbolo (S), son aquellos que contribuyen a la calidad y robustez de la instalación. Ahora bien, cualquier juicio sobre la bondad de una instalación es esencialmente subjetivo, por lo que los requisitos sugeridos aquí pueden estar influidos por la experiencia personal de los autores, y su aplicación debe ser analizada en cada caso.

Esta norma pretende ser de utilidad en los procedimientos que buscan afianzar la calidad, y como consecuencia los sistemas fotovoltaicos funcionaran satisfactoriamente.

6.3.1. REQUISITOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA UNIVERSAL

La mayoría de los sistemas fotovoltaicos que se hacen hoy en día son para aplicaciones domésticas por lo que es necesario revisar la norma técnica universal para tener una idea de los lineamientos a seguir para la implementación de un sistema fotovoltaico para las áreas comunes de los conjuntos residenciales en el área metropolitana de Pereira y Dosquebradas.

En esta norma se encuentran los requisitos exigidos para el buen funcionamiento de un sistema fotovoltaico doméstico el cual está compuesto de la siguiente manera:

- Un generador fotovoltaico compuesto por uno o más módulos fotovoltaicos, los cuales están interconectados para conformar una unidad generadora de corriente continua, CC.
- Una estructura de soporte mecánica para el generador fotovoltaico.
- Una batería de plomo-ácido compuesta de varios vasos, cada uno de 2 V de voltaje nominal.
- Un regulador de carga para prevenir excesivas descargas o sobrecargas de la batería.
- Las cargas (lámparas, radio, etc.).
- El cableado (cables, interruptores y cajas de conexión).

Es muy importante tener en cuenta la calidad, la cual es juzgada en términos de confiabilidad, comportamiento energético, seguridad, facilidad de uso, simplicidad de la instalación y mantenimiento.

Todos los componentes del sistema deben satisfacer requisitos similares de calidad y confiabilidad porque, si hubiera un componente defectuoso en el sistema ese componente limitaría la calidad del sistema como un todo. Estos requisitos son:

6.3.1.1. Generador Fotovoltaico

- Módulos fotovoltaicos certificados de acuerdo con la norma internacional IEC-61215 o con la norma nacional para módulos fotovoltaicos utilizada en el país de interés. (R)

Este requisito excluye los módulos fotovoltaicos de capa delgada porque hasta el momento las experiencias con estos módulos han sido muy desalentadoras, se recomienda su uso si estos están avalados por adecuadas garantías a largo plazo.

6.3.1.2. Estructuras de Soporte

- Deben ser capaces de resistir, como mínimo, 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión o fatiga apreciables. (C)
- Las estructuras de soporte deben soportar vientos de 120 km/h, como mínimo. (R).

Pueden usarse muchos, entre ellos acero inoxidable, aluminio, hierro galvanizado con una capa protectora de 30 µm, madera tratada, etc.

- En el caso de módulos fotovoltaicos con marco, su fijación a los soportes sólo puede realizarse mediante elementos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.) de acero inoxidable. (C)
- El ángulo de inclinación debe optimizar la captación de energía solar durante el peor mes, es decir el mes con la peor relación entre los valores diarios de la irradiación y el consumo, ambos en media mensual. Generalmente puede suponerse que la demanda de los usuarios es constante, lo que lleva a la fórmula:

$$Inclinacion(^{\circ}) = max\{|\Phi| + 10^{\circ}\}$$

Donde Φ es la latitud del lugar de instalación. (R)

Esta fórmula conduce a un ángulo mínimo de inclinación de 10°, el cual es suficiente para permitir el drenaje del agua lluvia.

- Las estructuras de soporte estáticas son generalmente preferibles a las de seguimiento (R).

6.3.1.3. Batería

- La capacidad nominal de la batería expresada en Ah no debe exceder en 40 veces la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico (medida en las denominadas condiciones estándar: irradiancia igual a 1000 W/m² y temperatura de célula igual a 25° C).
- La máxima profundidad de descarga, PD_{MAX}, no debe exceder el 80%.
- La capacidad útil de la batería, C_U, deberá permitir entre tres y cinco días de autonomía (R).
- Deben hacerse las previsiones necesarias para asegurar que la capacidad inicial de las baterías puestas en operación no difiere en más del 95 % del valor nominal. (C)

- La vida de la batería (es decir, antes de que su capacidad residual caiga por debajo del 80 % de su capacidad nominal) a 20°C, debe exceder un cierto número de ciclos, NOC, cuando se descarga hasta una profundidad del 50%. Estos valores de NOC son diferentes para cada tipo de batería. (R).
- La autodescarga de las baterías a 25°C, no debe exceder el 6% de su capacidad nominal por mes. (C)

6.3.1.4. Regulador de Carga

- Debe haber protección contra descargas profundas. (C)
- El “voltaje de desconexión de carga” debe corresponder al valor máximo de la profundidad de descarga, precisamente para una corriente de descarga, expresada en amperios, igual al consumo diario, expresado en amperios-hora, dividido por 5. (C)
- El “voltaje de reconexión de carga” debe ser 0,08 V/vaso (ó 0,5 V para 12 V) superior al voltaje de “desconexión de carga”. (R).
- La inhibición manual de la protección contra descargas profundas no está permitida. (S)
- Deben incluirse elementos de señalización y alarma previos a la desconexión. (R)
- El “voltaje de alarma” (estado de carga bajo) debe ser 0.2V (para sistemas de 12V) superior a la tensión de desconexión del consumo.(R)
- Los voltajes de desconexión, reconexión y alarma deben tener una precisión de $\pm 1\%$ (± 20 mV/vaso, o ± 120 mV/batería de 12 V) y permanecer constantes en todo el rango de posible variación de la temperatura ambiente. (C)
- La desconexión de la carga debe retardarse entre 3 y 30 segundos desde que se alcanza el “voltaje de desconexión de carga”. (R)
- El “voltaje de fin de carga” debe corresponder a un factor de recarga entre 0,95 y 1, cuando la carga se realiza precisamente a una corriente constante igual a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico, en condiciones estándar de medida. (R)
- La corriente de gaseo, normalizada para una batería de 100 Ah, debe ser inferior a 50 mA, a 2.23 V/vaso y 20°C. (S)
- El “voltaje de fin de carga” debe estar en el rango de 2,3 a 2,4 V/vaso, a 25°C. (C)
- En los controladores “on-off”, el voltaje de reposición debe estar en el rango de 2,15 a 2,2 V/vaso, a 25°C. (C)
- En el caso de reguladores PWM, el voltaje de “fin de carga” debe estar en el rango de 2,3 a 2,35V/vaso, a 25°. (C)
- Todos los terminales del regulador deben poder acomodar fácilmente cables de, al menos, 4 mm² de sección. (C)

- Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del generador, deben ser inferiores al 4 % de la tensión nominal ($\cong 0,5$ V para 12 V), en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas apagadas y con la máxima corriente procedente del generador fotovoltaico. (C)
- Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del consumo, deben ser inferiores al 4 % del voltaje nominal. ($\cong 0,5$ V para 12 V) en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas encendidas y sin corriente alguna procedente del generador fotovoltaico. (C)
- El regulador de carga puede incluir una línea independiente para el sensor de tensión de batería. (S)
- Las sobrecargas controladas deben efectuarse a un voltaje constante de 2,5 V/vaso. Las sobrecargas deben efectuarse después de cada descarga profunda y/o a cada intervalo de 14 días. La sobrecarga debe durar entre 1 y 5 horas. (S)
- Debe ser posible la interrupción manual de la sobrecarga. (S)
- Los umbrales superior e inferior de la sobrecarga controlada deben ser, respectivamente, 2,5 y 2,25 V/vaso. (S)
- Se debe evitar la sobrecarga de las baterías SLI de “bajo mantenimiento”. (C)
- Deben proveerse protecciones contra corrientes inversas (C)
- El regulador de carga debe ser capaz de resistir cualquier situación posible de operación “sin batería”, cuando el generador fotovoltaico opera en condiciones estándar de medida, y con cualquier condición de carga permitida. (C)
- El regulador de carga debe también proteger a las cargas en cualquier situación posible de operación “sin batería”, como fue definida anteriormente, limitando el voltaje de salida a un máximo de 1,3 veces el valor nominal. (También se permite la total interrupción de la alimentación a las cargas). (C)
- El regulador de carga debe permitir la carga de la batería desde el generador fotovoltaico con cualquier voltaje mayor que 1,5 V/vaso. (R)
- El regulador de carga debe resistir sin daño la siguiente condición de operación: temperatura ambiente 45°C, corriente de carga 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en las condiciones estándar de medida, y corriente de descarga 25% superior a la correspondiente a todas las cargas encendidas y al voltaje nominal de operación. (C)
- Las cajas de los reguladores de carga deben como mínimo proveer protección IP 32 o IP 54 que es obligatoria para instalaciones exteriores, según las normas IEC 529 o DIN 40050. (C)
- El regulador de carga debe estar protegido contra polaridad inversa tanto en la línea del generador como en la de la batería. Pueden utilizarse combinaciones diodos-fusibles u otra solución. (R)

- El regulador de carga debe estar protegido contra sobretensiones por medio de un supresor de sobrevoltajes de 1000 W o mayor, instalado entre ambos polos (+ y -) de la entrada correspondiente al generador fotovoltaico. (R).
- El regulador de carga debe estar protegido contra sobretensiones por medio de un supresor de sobrevoltajes de 1000 W o mayor, instalado entre ambos polos (+ y -) de la salida correspondiente a las cargas. (R)
- El regulador de carga no debe producir interferencias en las radiofrecuencias en ninguna condición de operación. (C)

6.3.1.5. El Cableado

- Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3% entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1% entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 5% entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente. (R)
- Sin perjuicio de la especificación anterior, las mínimas secciones de los cables en cada una de las líneas serán las siguientes: (C) del generador fotovoltaico al regulador de carga: 2,5 mm², del regulador de carga a las baterías: 4 mm².
- Los cables externos deberán ser aptos para operar a la intemperie según la norma internacional IEC 60811 o la norma nacional para cables que sea relevante en el país de interés. (C)
- Todos los terminales de los cables deben permitir una conexión segura y mecánicamente fuerte. Deben tener una resistencia interna pequeña, que no permita caídas de tensión superiores al 0,5 % del voltaje nominal. Esta condición es aplicable a cada terminal en las condiciones de máxima corriente. (C)
- Los terminales de los cables no deben favorecer la corrosión que se produce cuando hay contacto entre dos metales distintos. (C)
- Los extremos de los cables de sección $\geq 4 \text{ mm}^2$ deben estar dotados con terminales específicos y de cobre. Los extremos de los cables de sección $\leq 2,5 \text{ mm}^2$ podrán retorcerse y estañarse para lograr una conexión adecuada. (C)
- Todos los cables deben respetar un código de colores y/o estar debidamente etiquetados. (R)
- Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80% de la capacidad nominal del fusible. (C)
- Los fusibles deben instalarse preferentemente en las líneas de polaridad positiva. (R)
- Los interruptores deben ser especialmente aptos para CC. (R)

- Si se permite el uso de interruptores para CA, la corriente nominal en CA debe exceder como mínimo en 200 % la corriente máxima a ser interrumpida en CC. (R)
- Las combinaciones enchufe/toma de corriente deben tener protecciones contra la inversión de la polaridad del voltaje suministrado a los aparatos eléctricos. (C)

6.3.1.6 Seguridad y Fiabilidad

- La batería debe estar ubicada en un espacio bien ventilado y con acceso restringido. (C)
- Deben tomarse precauciones para evitar el cortocircuito accidental de los terminales de la batería. (C)
- Tanto la batería como el regulador de carga deben estar protegidos contra sobrecorrientes y corrientes de cortocircuito por medio de fusibles, diodos, etc. Las protecciones deben afectar tanto a la línea del generador fotovoltaico como a la línea de las cargas. (C)
- En regiones con tormentas eléctricas frecuentes se debe instalar algún medio de aislar manualmente los polos positivo y negativo del lado del generador fotovoltaico. De este modo se puede aislar el generador fotovoltaico cuando hay riesgo de descargas eléctricas atmosféricas. (S)
- Finalmente, para evitar Los electrodos de los balastos nunca pueden estar conectados a los elementos de fijación (regletas, etc.) de las luminarias. (C)
- El tamaño del generador fotovoltaico debe asegurar que la energía producida durante el peor mes pueda, como mínimo, igualar a la demandada por la carga. (R)
- La capacidad útil de la batería (capacidad nominal multiplicada por la máxima profundidad de descarga) debe permitir entre 3 y 5 días de autonomía. (R)
- El generador fotovoltaico debe estar totalmente libre de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año. (C)
- El voltaje del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico, a una temperatura ambiente igual a la máxima anual del lugar y a una irradiancia de 800 W/m², VMG(TMAX) debe estar comprendida en el rango de 14,5 a 15 V. (R)
- Cuando las cargas puedan ser utilizadas sin restricciones, porque el estado de carga de la batería es suficientemente elevado, se indicará con una señal de color verde. (C)
- Cuando las cargas hayan sido desconectadas de la batería, porque el estado de carga es excesivamente bajo, se indicará con una señal de color rojo. (C)
- La situación de riesgo de que se interrumpa el suministro de electricidad a las cargas, porque el estado de carga de la batería ha descendido hasta el nivel de alarma, se indicará con una señal de color amarillo. (R)

- El diseño de las estructuras de soporte debe facilitar la limpieza de los módulos fotovoltaicos y la inspección de las cajas de conexión. (C)
- El montaje de las estructuras de soporte debe preservar su resistencia a la fatiga, corrosión y efectos del viento. (C)
- Es preferible montar los módulos fotovoltaicos sobre pedestales o paredes, que hacerlo sobre los tejados. (S)

6.4. DISPOSICIONES DE LA CREG PARA AUTOGENERADORES

Mediante la resolución número 084 del 15 de octubre de 1996 la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) reglamento las actividades del autogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN), para interpretar esta resolución es necesario entender las siguientes definiciones:

Autogenerador: Es aquella persona natural o jurídica que produce energía eléctrica exclusivamente para atender sus propias necesidades. Por lo tanto, no usa la red pública para fines distintos al de obtener respaldo del SIN, y puede o no, ser el propietario del sistema de generación.

Demanda Suplementaria: Es la demanda adicional máxima (MW) que puede requerir un Autogenerador conectado al SIN para cubrir el 100% de sus necesidades de potencia.

Energía Suplementaria: Es la energía adicional (MWh) que puede requerir un Autogenerador conectado al SIN para cubrir el 100% de sus necesidades de energía.

Red Pública: Aquella que utilizan dos o más personas naturales o jurídicas, independientemente de la propiedad de la red.

Sistema Interconectado Nacional (SIN): Es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución y las cargas eléctricas de los usuarios, conforme a lo definido en la Ley 143 de 1994.

Sistema de Transmisión Nacional (STN): Es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, con sus correspondientes módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV.

Sistema de Transmisión Regional (STR): Sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por redes regionales o interregionales de transmisión; conformado por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus

equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV y que no pertenecen a un sistema de distribución local.

Sistema de Distribución Local (SDL): Sistema de transmisión de energía eléctrica compuesto por redes de distribución municipales o distritales; conformado por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV que no pertenecen a un sistema de transmisión regional por estar dedicadas al servicio de un sistema de distribución municipal, distrital o local.

Esta resolución se aplica al autogenerador en dos categorías:

Usuario Regulado: si su demanda máxima es igual o inferior al límite de potencia establecido por la CREG con el fin de clasificar a los usuarios.

Usuario No Regulado: si su demanda máxima es superior al límite de potencia establecido por la CREG con el fin de clasificar a los usuarios.

La calidad de Usuario Regulado o No Regulado no se determina con base en la demanda suplementaria que el Autogenerador contrata con un comercializador o generador para cubrir parte de su consumo.

Condiciones para la conexión al STN del Autogenerador: son las contenidas en las Resoluciones CREG-001 de Noviembre de 1994 (Artículos No: 21, 22 y 23), y para la conexión a los STR o SDL son las contenidas en la Resolución CREG-003 de Noviembre de 1994 (Artículos No: 18, 19 y 20).

Condiciones para el Acceso al Respaldo: si el Autogenerador tiene la categoría de Usuario Regulado, debe ser respaldado por el comercializador del mercado regulado donde se encuentre localizada la planta de generación del Autogenerador. Si tiene la categoría de Usuario No Regulado debe contratar su respaldo con cualquier comercializador del mercado.

Uso del Respaldo: Para el caso del Autogenerador que supe parte de sus necesidades con compras a un comercializador, se entenderá que usa el servicio de respaldo cuando la potencia eléctrica promedio que toma de la red en cualquier hora particular, es mayor a la Demanda Suplementaria contratada. Esta es la energía adicional a la energía suplementaria.

Tarifas para los Servicios de Respaldo: Para los Usuarios Regulados el comercializador aplicara tarifas reguladas como a cualquier otro usuario de su mercado regulado.

Para el Usuario No Regulado, las tarifas correspondientes a Servicio de Respaldo se acuerdan libremente entre las partes y podrán considerar entre otros los

siguientes conceptos de costos: Cargos por Uso del STN, Cargos por Uso de los STR y SDL, Costos por Pérdidas de Energía en el STN y en los STR y SDL (acumuladas hasta el nivel de tensión en que se preste el servicio), Costo de la Energía Suministrada y los demás cargos que enfrente quien preste el respaldo por concepto de otros servicios tales como: despacho, reconciliaciones y adicionalmente un cargo por concepto de comercialización.

Cuando se establezcan Cargos Horarios por uso de los STR y SDL se podrán acordar tarifas horarias por Servicio de respaldo.

Sistemas de Medida: Debe contar con equipos de medición horaria de energía.

Venta de Excedentes: De acuerdo con la definición consignada en el Artículo 1o. de la presente Resolución, no puede vender parcial o totalmente su energía a terceros si quiere mantener la categoría de Autogenerador. No obstante, en situaciones de racionamiento declarado de energía, los Autogeneradores podrán vender energía a la Bolsa en los términos comerciales que se definan en el respectivo estatuto.

Otras Reglas Aplicables: En cuanto a los productores para uso particular, los propietarios u operadores de las plantas a que se refiere la presente Resolución, darán cumplimiento a lo ordenado en el Artículo 16o. de la Ley 142 de 1994.

7. INSTITUCIONES QUE BRINDAN APOYO Y FINANCIAMIENTO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍAS RENOVABLES FNCER

Antes de hablar de las instituciones que apoyan y financian las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER) se hablara sobre los instrumentos y mecanismos que se están utilizando hoy en día para la promoción de energías renovables tanto en Colombia como en el mundo.

A nivel mundial se vienen utilizando instrumentos para la promoción de las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER) que comprenden un abanico amplio de mecanismos directos e indirectos como son tarifas garantizadas, subastas, contratos por diferencias, certificados de energías renovables, incentivos a la inversión y financiamiento, que deben ser considerados para determinar cuáles pueden adaptarse e implementarse mejor en el entorno colombiano.

Los instrumentos utilizados a nivel mundial para la promoción de las FNCER comprenden principalmente algunos mecanismos indirectos que pueden estar orientados a la obtención de beneficios ambientales, como la reducción en emisiones de gases de efecto invernadero –GEI–, instrumentos directos de política energética dirigidos a facilitar la integración de estas fuentes alternativas en el mercado eléctrico, y mecanismos fiscales y de financiamiento que, además de servir como señales, sientan las condiciones propicias para generar la dinámica necesaria para el desarrollo de estas fuentes.

Estos instrumentos han venido siendo desarrollados y probados a nivel internacional a lo largo de las últimas décadas, especialmente durante los últimos 15 años, se propone hacer un recuento de los más utilizados hoy en día para posteriormente determinar cuáles representan las alternativas más convenientes para ser consideradas en el caso colombiano¹⁶.

Los instrumentos utilizados a nivel mundial directa o indirectamente para la promoción de las Energías Renovables son:

+ Instrumentos para la reducción de emisiones

Una de las principales razones de la mayoría de países que fomentan el desarrollo de las energías renovables, en especial los países industrializados, corresponde a la reducción en la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) producidos a partir de la quema de combustibles fósiles.

¹⁶ (Tomado de

http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVABLES_WEB.pdf)

En el año 2014 fue determinante el avance de las tecnologías de captura y secuestro del carbono como contribuyente a tal efecto por parte del sector eléctrico mundial, los costos de este tipo de solución aún son altos (estimados actuales del orden de 60 USD/Ton CO₂ con prospectos de poder reducirse a niveles de 40, 30 o hasta 15 USD/Ton CO₂ en el futuro). Por esta razón, se busca en lo posible sustituir la generación convencional por la de FNCER, que no emiten GEI en su operación, a través de proyectos que sean viables actualmente aun sin depender del pago de bonos de carbono. Para esto se tiene:

- **Impuesto al Carbono:** Alternativa mediante la cual se establece un precio y se deja que el mercado fije la cantidad a ser emitida de acuerdo con las características de los procesos que involucran la producción de GEI cuyo destino puede eventualmente (pero no necesariamente) ser el apoyo de las llamadas energías limpias.
- **Topes de emisiones:** Este procedimiento constituye en cierto modo el inverso del impuesto al carbono se le conoce como “Cap and Trade” y consiste en que el Gobierno fije un límite a las emisiones de carbono, repartiendo unas cuotas a los generadores de GEI y dejando que las cuotas se comercialicen de tal manera que se alcance un precio de equilibrio. El límite de emisiones se puede ir reduciendo año a año, hasta lograr un control efectivo al problema del efecto invernadero, mediante un procedimiento de mercado.

+ Feed-In Tariff – FIT

Conocido en español como tarifa garantizada, este instrumento consiste en establecer un precio de compra por parte de las empresas de energía a los productores de energía renovable.

Para establecer el valor o nivel del FIT, que es un aspecto crítico en la implementación de tal instrumento, se han manejado dos enfoques tradicionales que consisten en:

- a. Precios basados en el costo de producción de la energía renovable.
- b. Precios basados en el costo evitado (similar al PURPA).

+ Cuotas

Procedimiento usado en la práctica internacional que consiste en establecer cuotas para la participación de energía renovable, ya sea en términos relativos o como metas específicas de capacidad instalada. Un enfoque particular para esta modalidad consiste en que el Gobierno establezca una cuota mínima de la cantidad de energía renovable a ser comercializada para que las fuerzas del mercado determinen el precio. En los Estados Unidos a este tipo de esquema se

le conoce como RPS (Renewable Portfolio Standards) o en español, portafolio estándar de energías renovables. Para lograr el cumplimiento de las cuotas o metas fijadas, se han desarrollado básicamente dos tipos de mecanismos que son: los métodos basados en subastas y los certificados de energía renovable o RECs (Renewable Energy Certificates).

+ Subastas

El mecanismo de subastas, establece una meta cuantitativa de energía renovable, se abre una licitación y se escogen los proyectos de menor costo hasta cumplir con la meta fijada. Los desarrolladores presentan ofertas consistentes con el precio mayorista y las empresas de menor costo ganan la licitación, lo cual se traduce en contratos firmes de compra de energía. Al adoptar un esquema de subastas, una primera decisión consiste en determinar si se trata de subastas para una tecnología determinada, si está limitada a renovables de cierto tamaño, etc. También se requiere conocer qué tan competitiva puede ser la licitación, pues existe el riesgo de que haya ofertas bajas que finalmente no se traduzcan en la puesta en servicio efectiva de los proyectos, así como es posible que se presenten precios para ganar la licitación pero con miras a buscar ajustes futuros.

+ Certificados de Energía Renovable –REC

Consiste en otorgar certificados a los productores de energía renovable, los cuales pueden ser comercializados. La demanda de RECs se genera cuando el Gobierno establece una meta de energía renovable a la cual tienen que someterse las empresas de generación. En este caso, la obligación puede cumplirse ya sea instalando una planta de energía renovable, o comprando RECs en el mercado. El regulador otorga RECs de acuerdo con políticas de fomento de determinados recursos renovables.

Los RECs generalmente son negociables por mecanismos electrónicos y desempeñan varias funciones: representan la producción de un megawatt-hora (MWh) de generación de electricidad por parte de un generador, incluyen las características descriptivas asociadas con la fuente (tipo de generación, ubicación, emisiones, etc.), e indican el momento de producción de ese MWh.

+ Contratos por diferencias –CFD

Un CFD (Contract for Difference), en español Contrato Por Diferencias, es un instrumento que garantiza a los generadores de energía renovable un precio de ejercicio fijo por su electricidad, después de participar en el mercado mayorista. Así, los generadores venden su electricidad competitivamente en el mercado al contado y luego reciben el pago de una prima para cerrar la brecha entre el precio de ejercicio (si este está por encima del mercado) y el precio del mercado mayorista. El pago del incentivo por ende fluctúa dependiendo del precio

competitivo de la electricidad (Couture, et al, 2010). Si el precio del mercado mayorista sube por encima del precio de ejercicio, los generadores no reciben el incentivo y en la mayoría de los casos deben pagar (devolver) la diferencia entre el precio mayorista y el precio de ejercicio (Sherry, 2013).

+ Incentivos por encima del precio de mercado

Otro instrumento disponible para el apoyo al desarrollo de las energías renovables en diferentes países consiste en la provisión a generadores con FNCER de incentivos fijos adicionales al precio del mercado mayorista. Estos incentivos se pueden dar de diferentes maneras, como por ejemplo a través de pagos en efectivo o créditos fiscales. También pueden estar estructurados como fijos en ciertos montos (por ejemplo, 0,02 USD/kWh) o variar en el tiempo con los precios del mercado mayorista (por ejemplo, 10% por encima de los niveles del precio del mercado mayorista). Estos son típicamente pagados con base en USD/kWh y se conceden por un período predeterminado de tiempo (por ejemplo, 10 años).

+ Medición bidireccional

Permiten cuantificar y remunerar los excedentes de energía que estos usuarios entregan, conforme a una tarifa preestablecida bajo un modelo que puede ser de medición neta o facturación neta. En el caso de la medición neta, la tarifa de remuneración para dichos excedentes coincide con la tarifa de consumo al usuario, de manera que independiente del consumo y la entrega de energía a la red, la diferencia neta entre estos dos determina el valor a favor o a pagar por parte del usuario. Entre tanto, en el caso de la facturación neta, la tarifa de remuneración de los excedentes difiere de la tarifa de consumo, por lo cual es necesario contabilizar consumo y excedentes independientemente para aplicar las respectivas tarifas a cada cantidad y así determinar el valor a ser facturado o acreditado al usuario a partir de la diferencia entre ambos montos.

+ Instrumentos operativos

Otro tipo de instrumentos, utilizados generalmente en combinación con otros anteriormente tratados como los FIT, consisten en asegurar la prioridad en el despacho de las FNCER, lo cual provee seguridad a los inversionistas en cuanto a su remuneración, siempre y cuando haya energía disponible y que se pueda inyectar a la red. Dado que el costo marginal de las energías renovables es muy bajo, este incentivo puede parecer superfluo, pero hay circunstancias bajo las cuales esta garantía puede ser valiosa, en especial cuando las FNCER compiten con otras fuentes, por ejemplo en horas de baja carga.

+ Instrumentos fiscales

En la práctica internacional se ha difundido el uso de incentivos fiscales y financieros, de los que se puede decir que son hoy en día los más generalizados para promover las energías renovables. Estos suelen consistir principalmente de:

- Exenciones o reducciones a los impuestos de renta, IVA y aranceles: beneficios tributarios implementados en mayor o menor nivel en más de 90 países alrededor del mundo. Una ventaja de estos incentivos radica en que pueden ser aplicados tanto a empresas generadoras de energía con proyectos de mediana y gran escala, como a personas naturales o pequeñas empresas que desarrollen proyectos como sistemas solar FV.
- Créditos fiscales: créditos implementados por gobiernos en cerca de 40 países alrededor del mundo. Estos consisten en créditos que reducen los impuestos de renta de empresas de energía renovable. También se pueden aplicar este tipo de créditos sobre la base de reducciones en emisiones de GEI.
- Subsidios, préstamos o inversiones directas del estado: mecanismos utilizados en diferente medida por cerca de 70 países alrededor del mundo (REN21, 2014), a través de los cuales el Gobierno invierte dineros públicos bien sea para facilitar o concretamente para desarrollar proyectos cuyos beneficios se han de ver reflejados sobre toda la sociedad.

➤ Instrumentos para el caso de Colombia

Los instrumentos utilizados en Colombia solo difieren de los utilizados a nivel mundial en la Ley 1715 de 2014 y en los contratos por diferencias.

• De Instrumentos de la Ley 1715

En Colombia no se habían implementado mecanismos de apoyo explícito a las FNCER hasta el año 2014 con la expedición de la Ley 1715 de 2014, la cual establece instrumentos importantes de apoyo al desarrollo de las FNCER como son los siguientes:

- Art. 8: la posibilidad a auto generadores para entregar excedentes a la red y su reconocimiento como créditos de energía (medición bidireccional) para el caso de proyectos de pequeña escala que generen con FNCER, así como el reconocimiento de beneficios proporcionados por la generación distribuida y lineamientos para su remuneración.
- Art. 10: la creación de un Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (el FENOGE), destinado a financiar programas y proyectos en dichas áreas a partir de recursos aportados por la Nación, entidades públicas o privadas, y organismos de carácter multilateral e internacional.

- Art. 11 a 14: la disposición de cuatro incentivos fiscales explícitos: (a) posibilidad de deducir de la renta gravable hasta el 50% de la inversión en proyectos con FNCER, hasta por 5 años (Art. 11), (b) exclusión del IVA (Art. 12), (c) exención arancelaria (Art. 13), y (d) depreciación acelerada (Art. 14).
- Art 15 a 23: apoyos generales para la biomasa, la energía eólica, la geotermia, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la energía de los mares y más detallados para la energía solar.

• **Contratos por diferencias**

En cuanto a los contratos por diferencias, estos son considerados como un instrumento efectivo para la promoción de las FNCER, en la medida en que la garantía de pago que representan fomenta la seguridad del inversionista, y permite aceptar tasas de retorno razonables sobre sus inversiones y el acceso a capital de bajo costo, con lo cual la participación de los generadores en el mercado mayorista incrementa la integración de estas fuentes en el mercado (Couture & Gagnon, 2010) haciendo de este un mercado competitivo.

Sin alterar los mecanismos existentes en las leyes 142 y 143 de 1994, se plantean los instrumentos a nivel internacional que pueden ser utilizados como alternativas convenientes a ser consideradas en el desarrollo del mercado, en congruencia con las bases establecidas por la nueva ley.

Estos instrumentos son:

- Instrumentos para la reducción de emisiones
- Feed-In Tariff (FIT)
- Mecanismos de cuotas
- Certificados de energía renovable
- Contratos por diferencias
- Incentivos por encima del precio de mercado
- Medición bidireccional

• **Mecanismos de Financiación**

En lo que a los mecanismos de financiación el gobierno en la Ley 1715 de 2014 en su artículo 10 establece la creación de un Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía –FENOGE–, para financiar programas de FNCE y gestión eficiente de la energía, cuyos recursos podrán ser aportados por la Nación, entidades públicas o privadas, así como por organismos de carácter multilateral e internacional. De esta manera, un instrumento que depende en su estructuración y reglamentación de parte del Ministerio de Minas y Energía (MME)

podrá contribuir de manera importante en la viabilidad de proyectos con FNCER que le representen claros beneficios al país.

En Colombia ya existen algunos mecanismos de financiamiento nacional e internacional a los que algunos proyectos e iniciativas pueden llegar a tener acceso. A continuación, se presentan cuáles son estos fondos, sus requisitos y el tipo de proyectos que pueden acceder a sus recursos.

- **Fondos del Gobierno**

Estos fondos no están exclusivamente destinados al financiamiento de proyectos FNCER, pero según el objeto del proyecto, aquellos que incorporen el uso de Fuentes de Energía Renovable pueden llegar a acceder al FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas), el SGR (Sistema General de Regalías), el FAER (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas), y al FECF (Fondo Especial Cuota de Fomento), sin contarse el FENOGE que está por ser constituido y reglamentado por el Ministerio de Minas y Energía (MME).

Para acceder a estos fondos de capital, los proyectos deben exponer la solución a un problema o necesidad de una comunidad específica en el aprovisionamiento del servicio energético, solución que debe haber sido concertada con la comunidad y cursado tanto un estudio ambiental como un análisis de viabilidad técnica. Si cumple con estas características, el proyecto puede ser presentado ante la instancia correspondiente (según sea el caso) para solicitar su evaluación para acceder al fondo específico que aplique.

Adicionalmente, es necesario que el proyecto cumpla con los siguientes requisitos:

- Debe cumplir con la normatividad vigente.
- Debe permitir el crecimiento y desarrollo de la zona, a través de la ampliación de mercados o el desarrollo de nuevo proyectos.
- Debe tratarse de un proyecto que demuestre ser técnica, ambiental, financiera, social y económicamente viable.
- Debe ser funcional, en el sentido de asegurar la disponibilidad del servicio a los usuarios en forma segura y confiable.
- Debe llegar a desarrollarse de manera efectiva y eficiente de acuerdo al tiempo y los recursos predefinidos para su ejecución.
- Debe permitir que su impacto sea medido, comparando lo planeado contra lo realmente realizado.
- Debe ser el resultado del análisis de diferentes alternativas.
- Debe permitir la adopción o adaptación de nuevas tecnologías.
- Debe permitir que el proyecto pueda ser detenido ante algún evento crítico.

Una vez presentado el proyecto, es evaluado conforme a los procedimientos de cada fondo por el MME, la UPME, el IPSE o el OCAD (Órganos Colegiados de Administración y Decisión), y en caso de recibir concepto favorable es objeto de la firma de un convenio y la asignación de recursos para la ejecución de las obras, proceso durante el cual es sometido a una labor de seguimiento y control por parte del Estado, a través de interventorías técnicas, administrativas y financieras, e inspecciones de la autoridad ambiental.

A continuación se presentan los fondos y el tipo de proyectos que financian:

- **FAZNI:** Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas, financia planes, programas y/o proyectos priorizados de inversión para la construcción e instalación de la nueva infraestructura eléctrica y para la reposición o la rehabilitación de la existente, para ampliar la cobertura y mejorar la satisfacción de la demanda de energía en las Zonas no interconectadas. El Decreto 1124 de 2008 es el acto administrativo del Ministerio de Minas y Energía (MME) que reglamenta el FAZNI.
- **SGR:** Sistema General de Regalías, financia, entre otros, proyectos que involucren la construcción, ampliación, optimización, rehabilitación, montaje, instalación y puesta en funcionamiento de infraestructura eléctrica para generación de energía eléctrica en ZNI, generación de energía eléctrica en el SIN, servicio de alumbrado público, líneas del STR o infraestructura del SDL, subestaciones eléctricas del STR y del SDL, redes de distribución del SDL y normalización de las redes eléctricas de usuarios en barrios subnormales. En el acuerdo 017 de 2013 de la Comisión rectora integrada por el Gobierno Nacional, departamental y municipal, se establecen los requisitos de viabilidad, aprobación, ejecución y requisitos previos al acto administrativo de apertura del proceso de selección, que deben cumplir los proyectos a ser financiados. En materia de proyectos energéticos no eléctricos, el SGR también puede financiar conexiones (acometida y medidor) a usuarios de estratos 1, 2 y 3; distribución, transporte por redes y gasoductos virtuales.
- **FAER:** Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas, financia planes, programas o proyectos de inversión priorizados para la construcción e instalación de nueva infraestructura eléctrica en las zonas rurales interconectadas, para ampliar la cobertura y mejorar la satisfacción de la demanda de energía. El Decreto 1122 de 2008 del Ministerio de Minas y Energía (MME) es el acto administrativo que reglamenta el FAER. Debe tenerse en cuenta que no se financian bajo el FAER la compra de predios, requerimientos de servidumbres o planes de mitigación ambiental.

- **FECF:** Fondo Especial Cuota de Fomento, financia proyectos referentes a la construcción, incluido el suministro de materiales y equipos, y puesta en operación de gasoductos ramales y/o sistemas de transporte de gas natural, sistemas de distribución de gas natural en municipios que no pertenezcan a un área de servicio exclusivo de distribución de dicho combustible, y conexiones de usuarios de menores ingresos. Es de tener en cuenta que la financiación de proyectos bajo el FECF no cubre ampliaciones de sistemas de distribución existentes y en servicio, sistemas de distribución en poblaciones que se encuentran en el plan de expansión de una empresa prestadora del servicio o el pago de tierras, ni bienes inmuebles, ni de servidumbres, ni ningún otro bien que pueda generar responsabilidades fiscales o de otra índole.

La resolución de la CREG 202 de 2013 permite la financiación de proyectos en áreas rurales con o sin tarifa aprobada que no se encuentren en un plan de expansión de una empresa. En el caso del FECF y el SGR, proyectos con biogás podrían llegar a evaluar su aplicabilidad a este tipo de fondos para efectos de la prestación de servicios energéticos sustitutos del gas natural.

- **Fuentes de financiación con participación del Estado**

Se presentan las entidades con participación del Estado, las cuales ofrecen líneas de financiamiento que cubren, entre otros temas, la inversión en proyectos con energías limpias o FNCER.

- **Findeter:** Financiera de Desarrollo Territorial, como institución financiera del Estado, vinculada al Ministerio de Hacienda y Crédito Público, tiene por objeto descontar créditos a los entes territoriales, a sus entidades descentralizadas, a las áreas metropolitanas, a las asociaciones de municipios o a otras entidades que la ley permita, para financiar proyectos de desarrollo sostenible. Dentro de este tipo de proyectos se contemplan, entre otros, proyectos que tengan por objeto la modernización y expansión de servicios energéticos a través del desarrollo de energías renovables o la implementación de medidas de eficiencia energética, contándose al día de hoy (2014) con una línea específica de cien mil millones de pesos COP a la cual pueden acceder proyectos con FNCER, alumbrado e iluminación. Esta línea de crédito financia proyectos con una tasa de interés de DTF + 1,90 (T.A) o IPC + 4,00 (E.A) con un período de gracia de 2 años y plazo de hasta 8 años.
- **Bancoldex:** Banco de Comercio Exterior, es un banco estatal que tiene por función diseñar e implementar instrumentos financieros que promuevan la competitividad, productividad, crecimiento y desarrollo, especialmente de las pequeñas y medianas empresas -PYMES-, pero también de las grandes

industrias, y para tal efecto ofrece diversas líneas de crédito de capital para la modernización de la industria, cuyos recursos son canalizados a través de los intermediarios financieros comerciales (banca de primer piso). Entre las líneas ofertadas por Bancoldex, se encuentra una línea para desarrollo sostenible y energía renovable para inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energía como la solar, la geotérmica, la biomasa y la eólica, entre otras. Esta línea financia proyectos por hasta COP 2.000 millones de pesos y establece una tasa de redescuento en pesos de DTF +1,25 (E.A) y en dólares de Libor + 1,25 (E.A) con plazos de hasta 10 años incluyendo hasta 6 meses de período de gracia.

- **Colciencias:** Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, es otra entidad del Estado que cuenta con recursos, en este caso, para la financiación de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación que cubren los temas de energía, para lo cual abre convocatorias de proyectos con cierta periodicidad.

- **Fuentes de Financiación Internacional**

A continuación se presentan algunas entidades internacionales que financian proyectos FN CER

- **KfW y sus filiales:** El banco alemán Kreditanstalt für Wiederaufbau, es un banco estatal que se caracteriza por su amplia experiencia en la financiación de proyectos innovadores incluyendo proyectos con energías renovables en Alemania y otros países del mundo. El banco cuenta con dos filiales que pueden facilitar financiación a proyectos en Colombia especialmente en el caso en que tales proyectos involucren la participación de compañías de servicios o tecnología alemanas. Dichas filiales son el IPEX (Banco para el Financiamiento Internacional de Proyectos y Exportaciones) que tiene como propósito financiar la compra de productos y tecnología alemana por parte de otros países, y el DEG (Corporación Alemana para la Inversión y el Desarrollo) que ofrece financiamiento a largo plazo para proyectos de gran escala y en algunos casos actúa como inversionista en proyectos con capital propio (equity). Adicionalmente, el DEG ofrece algunos programas de subsidios para, por ejemplo, cubrir la realización de estudios de factibilidad en hasta un 50% y por un tope máximo de 200.000 EUR, para subsidiar proyectos asociativos en esa misma proporción y máximo monto, u otro tipo de programas mediante el cual prestan servicios de acompañamiento (sin costo) a través de actividades como formación, capacitación y consultoría. A través del KfW y sus filiales, también es posible lograr mediación con otros programas de financiación de bancos como el Banco Europeo de Inversiones – EIB– o el Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo –EBRD–.

- **DEG:** representa un socio del gobierno alemán, al igual que la GIZ (Sociedad alemana de cooperación internacional) para la ejecución de proyectos bajo el programa Developpp del Ministerio Alemán para la Cooperación y el Desarrollo Económico -BMZ-, el cual presta apoyo económico a través de donaciones no reembolsables a entidades públicas de otros países que realicen alianzas con compañías alemanas para el desarrollo de proyectos en temas diversos, entre los cuales se incluye el de energía.
- **GIZ:** Sociedad alemana de cooperación internacional, que ofrece la cofinanciación de proyectos hasta en un 50% en casos de proyectos cualificables en América Latina que aporten a los temas de medio ambiente y clima, o apoyo al desarrollo de estos a través del acompañamiento en sus diferentes etapas, financiando por ejemplo la contratación de recurso humano experto calificado (expertos alemanes o que han estudiado en Alemania) por medio de un programa alemán conocido como Returning Experts.
- **USAID:** United States Agency for International Development, agencia norteamericana que contribuye al desarrollo de pequeños proyectos de FNCER en Colombia a través de donaciones y del Programa de energía limpia para Colombia (CCEP, Colombian Clean Energy Program), el cual patrocina algunos proyectos con energías renovables, especialmente, pero no exclusivamente, en Zonas no interconectadas.
- **IAF:** Fundación interamericana, es una agencia independiente del gobierno de los Estados Unidos, que otorga donaciones a ONGs y organizaciones comunitarias en Latinoamérica y el Caribe con el objeto de promover ideas creativas para ayudar a comunidades autóctonas y a las ONGs que trabajan con tal función, a fin de mejorar la calidad de vida de poblaciones, especialmente aquellas en condiciones de alta pobreza. Para el caso de proyectos en ZNI, está también podría llegar a ser una eventual fuente de financiación de proyectos.
- **BID:** Banco Interamericano de Desarrollo, por medio de su departamento de Financiamiento estructurado y corporativo –SCF– ofrece el financiamiento de proyectos de gran escala (por encima de 10 millones USD), a través de créditos a largo plazo. Por otra parte, a través de su Corporación Interamericana de Inversiones –IIC–, el banco ofrece igualmente facilidades de crédito para PYMEs (pequeñas y medianas empresas) en el orden de 1 a 15 millones USD, y para pequeñas empresas tiene una línea de crédito llamada FINPYME Crédit para proyectos menores, entre 100.000 y 600.000 USD.

La Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático. SECCI es una iniciativa del BID centrada en la provisión de opciones de sostenibilidad exhaustivas en áreas relacionadas con energía, transporte, agua y los sectores ambientales, con lo cual el banco financia la adopción de nuevas tecnologías en diversos países en Latinoamérica y el Caribe.

- **FOMIN:** Fondo Multilateral de Inversiones del BID, es un fondo que aporta recursos, a través de donaciones no reembolsables, para la financiación de proyectos y programas dirigidos a la protección del medio ambiente y al desarrollo de la pequeña y mediana empresa. El fondo trabaja con el sector privado para desarrollar, financiar y ejecutar modelos de negocio innovadores que beneficien tanto a empresarios como a comunidades de bajos ingresos o condiciones de pobreza. Proyectos que incorporen FNCER en áreas rurales con el fin de generar esquemas productivos que brinden bienestar a las comunidades y mitiguen el uso de soluciones energéticas más contaminantes podrían llegar a acceder a este tipo de financiación.
- **BM:** Banco Mundial, a través de su agencia MIGA ofrece servicios de seguros de exportaciones y garantías para empresas que importan tecnología extranjera (especialmente dirigidos a PYMEs). El Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía –ESMAP– es un fondo financiado por 13 países donantes, que es administrado por el Banco Mundial y que busca ayudar a diferentes países a estructurar un sector energético “limpio” apoyando el desarrollo de políticas ambientales y facilitando las consideraciones técnicas, financieras y sectoriales necesarias para llevar a tal resultado.

El BioCarbon Fund del Carbon Finance Unit del Banco Mundial es un fondo de iniciativa público-privada que facilita la financiación de proyectos que secuestran y conservan carbono en sistemas agrícolas y forestales. En el caso de proyectos de bioenergía sostenible esta podría llegar a ser una alternativa a explorar para su financiación.

- **CAF:** Corporación Andina de Fomento, a través de su Banco de Desarrollo de América Latina financia proyectos en Colombia y otros países de la región Andina, los cuales incluyen, entre otros, el sector de servicios públicos y de energía. Lo anterior, a través de líneas de crédito establecidas con financistas locales y bancos asociados al sector privado. A través de su Programa latinoamericano del carbono –PLAC–, la corporación ofrece líneas de crédito por hasta 200 millones USD y 18 años de plazo, lo cual resulta atractivo para proyectos con energías renovables.
- **PNUD:** Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, actúa como una de las principales agencias implementadoras del Fondo Mundial para el Medio Ambiente –FMAM– financiando programas y proyectos en apoyo a

los gobiernos de diferentes países. A través del Programa de pequeñas donaciones, el apoyo financiero y técnico que brinda el PNUD también es otorgado a grupos organizados de la sociedad civil, comunidades de base y organizaciones no gubernamentales o académicas, que ejecuten proyectos específicos que se enmarcan en los objetivos del programa.

- **GEERED:** Global Energy Efficiency y Renewable Energy Fund, consiste en una asociación público-privada que apalanca fondos del sector público para facilitar inversiones del sector privado en proyectos de energías limpias, para el caso de mercados o países emergentes.
- **JICA:** Agencia de Cooperación Internacional del Japón, presta asistencia a través de apoyos no reembolsables a diferentes gobiernos y entidades estatales, con el objetivo de contribuir al desarrollo social y económico de las regiones en vías de desarrollo, dentro de lo cual se cubre el tema de energías renovables. Colombia ha recibido del JICA donaciones no reembolsables y apoyos en formación y capacitación en el campo del desarrollo de la energía geotérmica.

Existen otros fondos de financiamiento internacional públicos como por ejemplo el Emerging Energy Latin America Fund –II– que se concentra en grandes proyectos y el interés de invertir junto con grandes compañías locales en tecnologías como solar, viento e hidroelectricidad. Se tienen igualmente fondos de capital privado como el Calvert Global Alternative Energy Fund que invierte igualmente en medianas y grandes compañías con proyectos en energías renovables.

Una opción adicional es acceder a la figura de proyectos bajo el Mecanismo de desarrollo limpio –MDL– de las Naciones Unidas, el cual actualmente presenta la desventaja de estar asociado con bajos precios internacionales de remuneración frente a los altos costos de transacción que representa el poder acceder a tal mecanismo para la emisión de bonos de carbono.

8. RELACION DEL COSTO DE LA ENERGIA HIDRAULICA VERSUS LA ENERGIA SOLAR

Es importante conocer un poco de la historia de la energía para hacer esta relación.

A finales del siglo XIX cuando empezó el desarrollo y la masificación de la generación de electricidad, las primeras plantas desarrolladas fueron hidroeléctricas y térmicas a carbón. Por esta misma época hubo desarrollos de generadores eólicos o utilización de biomasa, pero finalmente la batalla tecnológica fue ganada por lo que hoy conocemos como fuentes convencionales de energía y que son principalmente la energía hidroeléctrica y la utilización de combustibles fósiles mediante procesos térmicos, es decir la generación termoeléctrica a partir de carbón, gas natural o derivados del petróleo.

Durante aproximadamente un siglo estas fueron las únicas fuentes de generación de electricidad hasta que hacia 1970 se desarrolla el uso masivo de energía nuclear, que utiliza el mismo principio de la generación térmica tradicional pero cambiando el combustible fósil por nuclear.

Cuando se habla de fuentes convencionales con frecuencia se asocia a recursos no renovables. Esto es verdad para los combustibles fósiles y el uranio empleado en la energía nuclear: son recursos naturales que tomaron miles de años en formarse y que son finitos, por ello no pueden regenerarse en un periodo de tiempo racional respecto a la tasa de uso que de ellos hace la humanidad.

La generación hidroeléctrica es considerada una fuente convencional, dado su desarrollo de más de 100 años y su participación como fuente de generación eléctrica en el mundo; sin embargo dado que el agua es un recurso renovable (ya que su regeneración mediante el ciclo del agua es más rápido que el uso del recurso), no hay un consenso sobre si la generación eléctrica a partir de agua es renovable o no.

Las fuentes renovables son aquellas fuentes primarias inagotables o con capacidad de regeneración en un periodo de tiempo inferior al de su uso. En general todas las fuentes provenientes directa o indirectamente del sol son consideradas renovables. Se clasifican como fuentes renovables el calor proveniente de la tierra y las mareas ocasionadas por la atracción gravitacional entre la Tierra y la Luna.

Uno de los principales inconvenientes para la explotación de las energías renovables radica en que su disponibilidad depende de la geografía: el viento, el agua el sol tienen altos potenciales de explotación en sitios específicos.

Situación mundial

Entre 1973 y 2010 la producción neta de electricidad mundial paso de 6.139 TWh a 25.283 TWh, lo que representa un crecimiento anual promedio de 3,4%. Para 2010 el 67,2% de la electricidad fue generada a partir de combustibles fósiles, 16,3% a partir de plantas hidroeléctricas, 12,8% de plantas nucleares, 1,6% de biomasa y residuos y el restante 2,1% de otras fuentes renovables (IEA, 2013). Los siguientes gráficos muestran el cambio de participación por fuentes de generación entre 1973 y 2010.

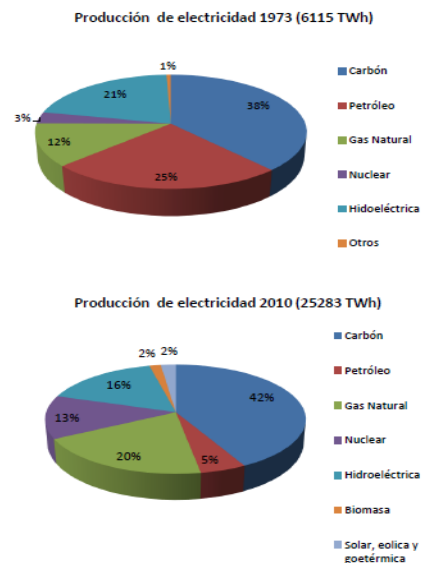


Gráfico 3.: Fuentes de generación de producción de electricidad 1973 y 2010

Como se ve en el Gráfico 3, el cambio fundamental de las fuentes de producción de electricidad en los últimos 30 años se concentró en la reducción de la generación a base de petróleo y sus derivados pasando de 25% a solo 5% durante el periodo analizado. Esta reducción se dio debido a la penetración de la generación nuclear que paso de 3% a 13% y el aumento de la participación de gas natural pasando de 12% a 20%. La hidroeléctrica por el contrario, redujo su participación pasando del 21% al 16% como resultado de la saturación de las cuencas hídricas en países desarrollados. Por su parte el carbón sigue siendo la principal fuente de generación eléctrica, pasando de 38% a 42%.

En cuanto a las fuentes de energía renovables no convencionales, es decir, excluyendo grandes centrales hidroeléctricas, se puede observar que en 1973 eran casi inexistentes, mientras que para 2010 contribuían con el 4% entre energía de la biomasa, geotérmica, solar y eólica, lo que, a pesar de su crecimiento, sigue siendo una participación marginal.

El Gráfico 4 muestra el comportamiento del crecimiento de la capacidad instalada de diferentes tecnologías de generación durante los últimos años.

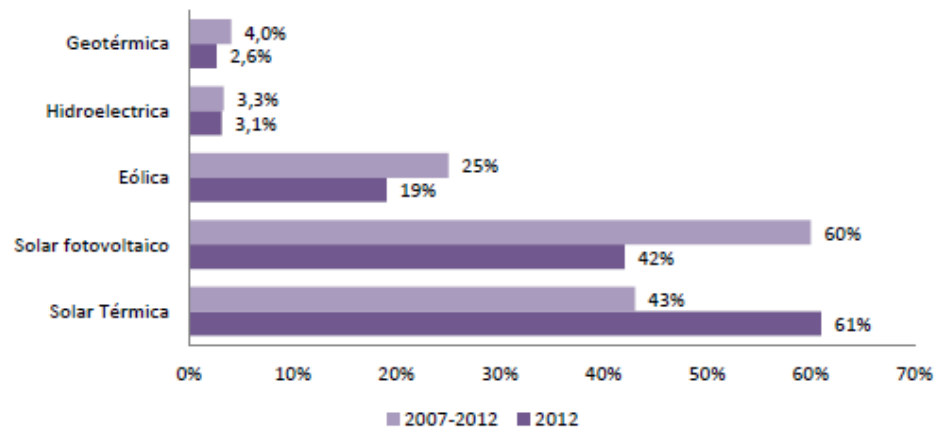


Gráfico 4. Crecimiento promedio anual de capacidad instalada de diferentes fuentes renovables.

Este grafico muestra como las tecnologías que han presentado un mayor crecimiento tanto en 2012 como los últimos 5 años son las tecnologías de energía solar tanto fotovoltaica como solar térmica, impulsadas por un fuerte decrecimiento en los costos de las mismas. En tercer lugar se encuentra la energía eólica que a pesar de que ha presentado una reducción en su tasa de crecimiento, ha aumentado 25% su capacidad instalada en los últimos 5 años. Por otra parte, se observa que la generación hidroeléctrica tiene un crecimiento relativamente bajo, dado a que ya existe una gran capacidad instalada y por tanto aumentarla en porcentajes considerables requeriría grandes proyectos, mientras que la geotérmica no es una tecnología que tenga un crecimiento dinámico debido a las limitaciones geográficas de los yacimientos y a que se encuentran en zonas de alto riesgo sísmico y geológico.

La Agencia Internacional de Energía (IEA), estima que para el 2050 la participación de la energía solar fotovoltaica llegará al 11% a nivel mundial y que hacia el 2020 habrá “paridad de red”, es decir, que los costos de la solar fotovoltaica serán comparables y competitivos con los precios de la electricidad en red.

En el mundo existen 1.300 millones de personas sin acceso a la electricidad. El problema es más crítico en África sub-sahariana y Asia.

○ **Situación en Colombia**

Colombia posee una ubicación privilegiada que le permite la explotación de recursos hídricos para la generación de electricidad. Desde que comenzó la

producción de electricidad en el país se aprovechó la abundante presencia de cuencas hídricas y el pronunciado relieve del país; condiciones ideales para el aprovechamiento de este recurso. Debido a esta condición la matriz eléctrica colombiana presenta una composición totalmente diferente a la matriz eléctrica mundial, en la cual predomina la generación a partir de combustibles fósiles. En el caso colombiano esta es dominada por la generación hídrica.

Para 2012 el país contaba con una capacidad instalada de 14.179 MW, de los cuales más del 70% corresponde a capacidad hidroeléctrica, con 64,88% correspondiente a centrales mayores a 20MW y 4,94% correspondiente a plantas hidroeléctricas menores. Se observa igualmente una baja capacidad instalada en cogeneración con bagazo debido a que muchas de estas plantas son cogeneradoras y/o utilizan otros combustibles por lo que es probable que reporten otro combustible diferente al bagazo o no reporten la totalidad de su capacidad instalada.

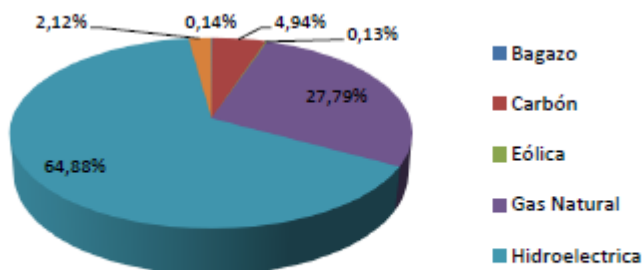


Gráfico 5. Capacidad instalada para generación eléctrica en Colombia por fuente de energía 2012.

La generación eléctrica está dominada por la generación hídrica como puede verse en el Gráfico 5 que compara la producción de energía eléctrica en 1975 y en 2012.

La matriz eléctrica colombiana ha mantenido una composición muy similar desde hace 30 años, con casi 80% de generación hidroeléctrica y con una participación alrededor del 20% de energía térmica. La diferencia entre un año y otro es la inversión que se produjo entre los aportes de generación con carbón frente a los del gas natural: en 1975 el carbón aportaba 18% y el gas 5% y en 2012 el aporte del carbón fue 3,77% y el gas 16,48%, esto se debe al programa de masificación del gas y los yacimientos encontrados en este periodo.

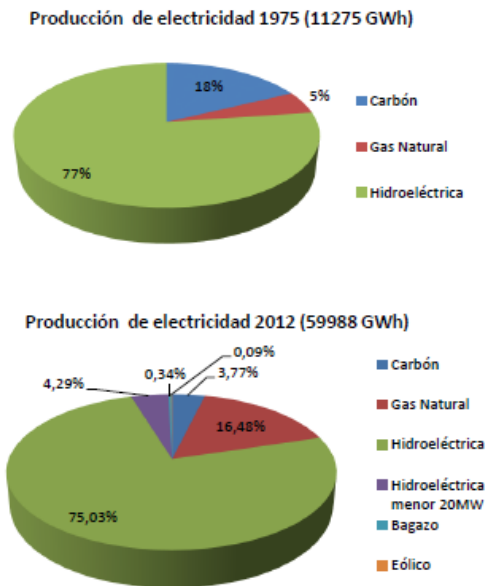


Gráfico 6: Producción de electricidad en Colombia por fuente de energía 1975 y 2012

Como se puede observar, la participación del país en fuentes renovables no convencionales es de menos del 1% proveniente del bagazo y el viento sumado al 4.29% proveniente de generación hidráulica menor a 20MW para un total de 4.72%. Cabe aclarar que la capacidad instalada en generación con bagazo es mucho mayor pero una gran parte de esta generación es para autoconsumo y por lo tanto no hace parte de esta matriz.

La UPME ha identificado las posibles alternativas de expansión en generación a mediano y largo plazo que permitirían diversificar la canasta y ha evaluado su impacto en el sistema en el Plan de Expansión de Referencia- Generación y Transmisión 2014-2028. Uno de los escenarios considera la participación de algo más del 10% en energías renovables no convencionales en capacidad instalada hacia el 2028, con una generación que oscila entre el 2,5% y el 7,5% de la producción total en el período de análisis.

De acuerdo a estos escenarios se considera la instalación de 143 MW de energía solar en el escenario pesimista y en el optimista se incluirían 239 MW de energía solar.

La capacidad instalada actualmente en paneles fotovoltaicos se estima entre unos 9 y 11 MWp instalados en sistemas aislados o aplicaciones profesionales.

8.1. COSTOS ENERGIA HIDROELECTRICA

En esta parte del proyecto se presenta la evolución reciente del precio de la electricidad en Colombia. El período de estudio va de enero de 2012 hasta abril de 2015. Muestra una estimación de la tarifa residencial promedio nacional. Estudios anteriores, en particular los de ECSIM (2013) y Ferreira (2009), emplean el CU para las comparaciones internacionales. Esto es correcto cuando se trata de comparar el costo, no así si el objetivo es comparar la tarifa efectivamente pagada por los usuarios finales.

Para el mercado regulado el referente de precio adecuado es el costo unitario (CU) del servicio. La estimación del CU promedio del País se hizo con base en los pliegos tarifarios de doce empresas que en conjunto representan el 90% del mercado. Se tomaron los cargos tarifarios mensuales para obtener los cargos anuales promedio por empresa. A partir de éstos y ponderando por la energía se obtienen el CU anual promedio discriminado en cada uno de sus componentes.

Tarifa Media Residencial Nacional						
Estratos residenciales	% CU	% Residencial	Tarifa Media 2014		Tarifa media 2015	
			\$/KWh	US\$cents/KWh	\$/KWh	US\$cents/KWh
Estrato 1	40	12,7	152,5	7,6	156,2	6,3
Estrato 2	50	34,0	190,6	9,5	195,3	7,9
Estrato 3	85	31,2	324,1	16,2	332,0	13,4
Estrato 4	100	13,0	381,3	19,1	390,6	15,8
Estrato 5	120	5,6	457,5	22,9	468,7	19,0
Estrato 6	120	3,5	457,5	22,9	468,7	19,0
Total Residencial		100,0	276,5	13,8	283,2	11,5
CU Nacional			381,3	19,1	390,6	15,8

Tabla 1. Tarifa residencial promedio nacional 2014 y 2015

La primera columna muestra las tarifas residenciales como porcentaje del CU, de acuerdo con la política actual de subsidios y contribuciones. En la segunda columna, se presenta la distribución por estratos de los usuarios residenciales de las empresas de la muestra en 2014. La última fila el CU nacional promedio de 2014 y 2015, en pesos corrientes y centavos de dólar. Ponderando estas cifras por los porcentajes del CU de cada estrato, se obtienen las tarifas medias por estrato en pesos y en centavos de dólar para cada uno de los dos años considerados. Finalmente, ponderando por la distribución de los usuarios residenciales por estrato, se obtiene la tarifa residencial promedio que se muestra en la antepenúltima fila, en cada moneda y año. En síntesis, la tarifa residencial promedio nacional de 2014 y 2015, se sitúa alrededor de 13,8 y 11,5 centavos de dólar por kilovatio-hora, respectivamente¹⁷.

¹⁷ (Tomado de <http://www.andeg.org/sites/default/files/El%20precio%20de%20la%20electricidad%20en%20colombia%202012-2015%20julio%2031%20Versi%C3%B3n%207.pdf>)

8.2. COSTOS ENERGIA FOTOVOLTAICA

El modelo solar desarrollado permite analizar tres categorías distintas de instalaciones fotovoltaicas: residencial, comercial y a gran escala. Las categorías se distinguen por la escala de los proyectos y los costos, en tanto que los proyectos de energía solar FV a gran escala incluyen el costo de interconexión considerando líneas de alto voltaje

Para analizar los resultados acá presentados, la generación eléctrica bruta anual se determina utilizando irradiación solar promedio de 4,5 kWh/m² /d y capacidades instaladas de 3 kWp, 500 kWp y 5MWp para las tres escalas consideradas, y correcciones por pérdidas y otros con un factor de rendimiento de 0,84.

La tecnología solar fotovoltaica en Colombia no es muy competitiva, pues los costos de estas instalaciones son muy altos comparados con la mayoría de países que tienen una industria solar desarrollada, como es el caso de los países europeos.

Los costos de instalación de energía solar fotovoltaica en Colombia son similares a los de Estados Unidos de América. En la tabla xxx se pueden ver los costos utilizados en los análisis, los cuales fueron obtenidos a partir de cotizaciones nacionales.

Tabla 5.16. Costos de instalación de energía solar FV en Colombia (con IVA y aranceles).				
Tamaño	Mínimo (USD/W instalado)	Promedio(USD/W instalado)	Máximo(USD/W instalado)	EE.UU. (USD/W instalado, Berkeley, 2014)
Residencial	2,6	4,8	7,2	4,7
Comercial	2,7	3,4	4,8	3,9
Gran escala	2,7	3,2	3,8	3,0

Fuente: Cotizaciones de proveedores nacionales.

Tabla 2. Costos de Instalación de Energía solar FV en Colombia

En la tabla 2 se puede ver el costo nivelado de energía calculado para las tres categorías de instalación en Colombia, sin incentivos. Para comparar se presentan también los valores globales de la base de datos del Laboratorio Nacional de Energías Renovables -NREL- de Estados Unidos (Open EI, 2014). Con esto se puede observar que los niveles de costos en Colombia son en general más altos que los valores globales, pero se encuentran dentro de rangos comparables¹⁸.

¹⁸ (Tomado de http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)

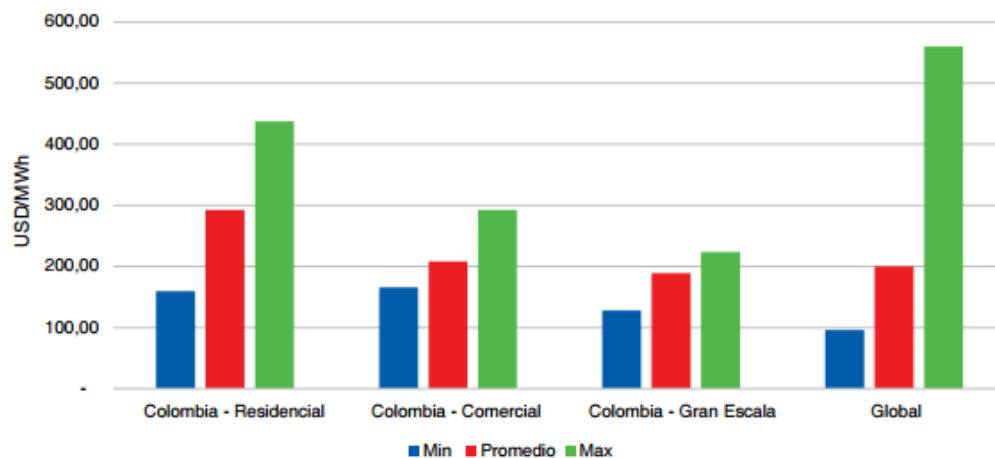


Tabla 3. Costo Nivelado de Energía Solar FV en Colombia y el Mundo

Rentabilidad de proyectos residenciales y comerciales

El análisis de rentabilidad para proyectos orientados al autoconsumo, como es el caso de los sectores residencial y comercial, difiere considerablemente del de un proyecto de gran escala orientado a la venta de energía al mercado eléctrico. En el caso de los primeros, los ingresos consisten principalmente en ahorros sobre el consumo eléctrico, cuyo objetivo fundamental para que las instalaciones de energía solar FV de este tipo sean competitivas, se define como “paridad de red” o “grid parity”, el cual consiste en alcanzar el punto en el que el costo nivelado de energía solar FV es igual al costo de compra de electricidad para el consumidor.

En Colombia, actualmente se aplican diferentes precios de compra de energía eléctrica para diferentes tipos de consumidores. Los precios son regulados y por lo general más altos para los consumidores residenciales y pequeños consumidores comerciales, dándose la opción de acogerse a precios regulados o no regulados a mayores consumidores comerciales o industriales, y aplicándose tarifas más bajas a usuarios industriales. También se impone un incremento del 20% sobre la tarifa, denominado contribución, para consumidores residenciales de estratos 5 y 6 y comerciales, que sirve para financiar los subsidios para los usuarios con menos poder adquisitivo.

Como se obtiene del escenario de precios de bolsa establecido por la UPME, la tarifa promedio para un usuario residencial con cargos de transmisión y distribución tomados de CODENSA es de 175 USD/MWh, y para un usuario comercial conectado al nivel 2 de distribución es de 140 USD/MWh.

Entre tanto, el LCOE de energía solar FV promedio para un usuario residencial con incentivos según el modelo utilizado es de aproximadamente 193 USD/MWh, el de un usuario comercial de 190 USD/MWh.

Para promover efectivamente la inversión en tecnologías de generación con fuentes renovables, la Ley contempla una serie de incentivos fiscales. En primer lugar, se establece una reducción del impuesto de renta por hasta el 50% de la inversión, que puede ser aplicada de manera distribuida en el transcurso de los 5 años siguientes a su realización. Adicionalmente se exime del pago de IVA a todos los equipos y servicios, acotados por la UPME, que se destinen al proyecto. Como tercera medida, se determina que todos aquellos equipos, maquinaria, materiales e insumos que sean importados para los proyectos de FNCE, y no sean producidos por la industria nacional, estarán exentos del pago de aranceles. Finalmente, se estipula la posibilidad de depreciar aceleradamente los activos del proyecto, con una tasa anual de depreciación máxima del 20%¹⁹.

¹⁹ (Tomado de http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf)

9. FUENTES EFICIENTES DE ALUMBRADO PÚBLICO

Para poder comprender mejor este tema se harán las siguientes definiciones:

Alumbrado Público: Es un servicio público no domiciliario que se presta con el fin de iluminar lugares de libre circulación, que incluyen las vías públicas, los parques y demás espacios que se encuentren a cargo del municipio, con el fin de permitir el desarrollo de actividades nocturnas dentro del perímetro urbano y rural. Pero sin duda, el objetivo principal es proporcionar condiciones de iluminación que generen sensación de seguridad a los peatones y una adecuada visibilidad a los conductores de vehículos en zonas con alta circulación peatonal.

Servicio de Alumbrado Público: El servicio de alumbrado público comprende las actividades de suministro de energía al sistema de alumbrado público, la administración, la operación, el mantenimiento, la modernización, la reposición y la expansión del sistema de alumbrado público

Parágrafo: La iluminación de las zonas comunes en las unidades inmobiliarias cerradas o en los edificios o conjuntos residenciales, comerciales o mixtos, sometidos al régimen de propiedad respectivo, no hace parte del servicio de alumbrado público y estará a cargo de la copropiedad o propiedad horizontal. También se excluyen del servicio de alumbrado público la iluminación de carreteras que no estén a cargo del Municipio o Distrito.

Sistema de Alumbrado Público: Comprende el conjunto de luminarias, redes eléctricas, transformadores de uso exclusivo y en general, todos los equipos necesarios para la prestación del servicio de alumbrado público, que no formen parte de las redes de uso general del sistema de distribución de energía eléctrica.

Las normas que rigen el alumbrado público en Colombia son el RETILAP y el RETIE, las cuales son el instrumento necesario para el buen diseño y uso racional de la energía, lo que deriva en un gran ahorro económico que servirá para ser utilizado en otras necesidades.

La energía eléctrica consumida se mide en kilovatios-hora (kWh) y el proveedor de energía cobra una tarifa por cada kWh consumido.

Para calcular la energía consumida por una luminaria encendida durante un determinado período de tiempo, se multiplica la potencia de la bombilla en kW (los vatios de la bombilla ÷ 1000) por el tiempo en horas del período determinado. Por ejemplo, una bombilla de 70 W encendida durante diez (10) horas consumirá 0.7 kWh, mientras que una bombilla de 400 W encendida el mismo tiempo consumirá 4 kWh, es decir más de cinco veces la energía consumida por la primera.

El RETILAP, **Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público**, fue creado con el objetivo de establecer los requisitos, medidas y características técnicas que deben cumplir las fuentes luminosas de diferentes tecnologías aplicadas a los sistemas de iluminación y alumbrado público para garantizar los niveles y calidades de la energía lumínica requerida para la adecuada actividad visual, y seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente.

Este reglamento nace a partir de la ley 697 de 2001 como adición al RETIE, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones entre las cuales está el URE (Uso Racional y Eficiente de Energía) como asuntos de interés público y nacional fundamentales para asegurar el abastecimiento energético, la competitividad de la economía colombiana y la protección al consumidor.

De acuerdo a la RESOLUCIÓN No. 180540 de Marzo 30 de 2010, Página 116 de 227 Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, CAPITULO 5 ALUMBRADO PÚBLICO E ILUMINACIÓN EXTERIOR, SECCIÓN 500, REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO, se establecen los parámetros y exigencias de iluminación teniendo en cuenta los niveles mínimos que garanticen seguridad para las personas.

Teniendo en cuenta que el RETILAP no establece regulación para alumbrado público en conjuntos residenciales que es la naturaleza de este proyecto, solo se va a tomar la variable de cantidad de luz para la medición recomendada en Luxes a nivel de piso. Todas las lámparas de iluminación recomendadas en este proyecto serán de tecnología LED con un Índice de Rendimiento de Color CRI superior a 70% y una temperatura de color entre 5700 y 6500 kelvin.

10. ESTUDIO TECNICO

En esta sección se analizarán los aspectos técnicos y de diseño del sistema solar de alumbrado público en conjuntos residenciales, además de la metodología a seguir para su dimensionamiento.

10.1. LUGAR O SITIO DE UBICACIÓN

Este estudio se realiza en las ciudades de Pereira y Dosquebradas que hacen parte del Área Metropolitana de Centro Occidente, ubicada en el valle del río Otún en el departamento de Risaralda.

El Área Metropolitana de Centro Occidente está conformada por los municipios de Pereira, Dosquebradas y La Virginia, posee una extensión de 846 Km², 700.526 habitantes distribuidos de la siguiente manera:

Pereira: 469.612 habitantes

Dosquebradas: 198.877 habitantes

La Virginia: 32.037 habitantes

Está Ubicada a 7°08'00"N 73°08'00"O, su altura sobre el nivel del mar es de 1411 m.s.n.m, con un clima templado y una temperatura de 19 °.

10.1.1 Determinación de la Radiación

La radiación solar global promedio diario se debe observar en los mapas de "Radiación Solar de Colombia", esto se hace de acuerdo a la franja de color a la que pertenece la ciudad donde se hace el estudio.

En la imagen adjunta se puede observar el significado de cada color de acuerdo al atlas solar 2015.

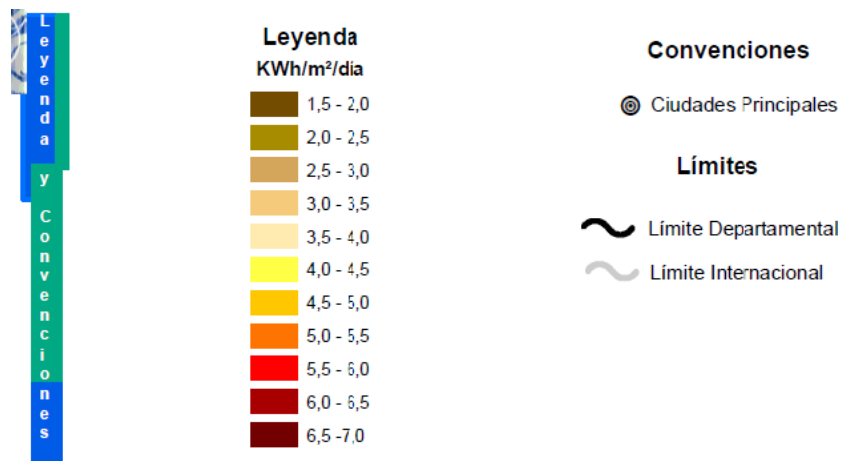


Figura 7. Convención de colores Irradiación Global Horizontal Anual

En el caso de Pereira y Dosquebradas se puede observar que están ubicadas en la franja amarilla y el nivel de radiación diario esta entre 4.0 y 4.5 KWh/m² día.

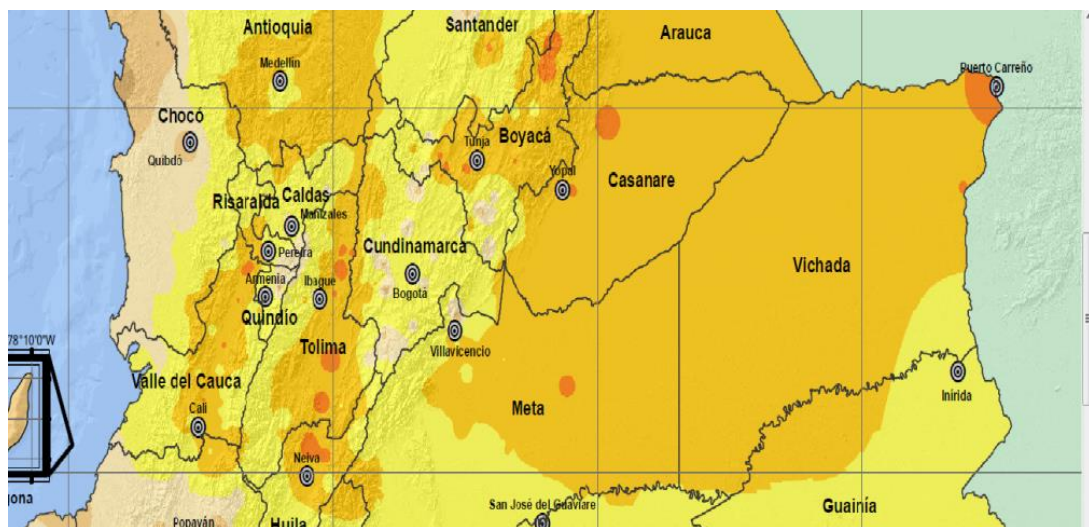


Figura 8

A continuación se hará un análisis de los mapas de radiación solar de todos los meses del año y del promedio diario anual el cual se muestra a continuación²⁰:

²⁰ <http://www1.upme.gov.co/demanda-y-eficiencia-energetica>

PERIODO	IRRADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO DIARIO EN KWh/m ²
ENERO	4,2794
FEBRERO	4,4063
MARZO	4,2839
ABRIL	4,0997
MAYO	3,8051
JUNIO	3,9405
JULIO	4,2436
AGOSTO	4,3620
SEPTIEMBRE	4,2732
OCTUBRE	4,3386
NOVIEMBRE	4,1833
DICIEMBRE	4,3154
ANUAL	4,2109

De acuerdo a esta tabla podemos observar que el promedio anual de radiación en pereira y Dosquebradas es de 4.21 KWh/m².

10.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para hacer una adecuada instalación fotovoltaica se deben tener en cuenta los siguientes factores que hacen que el sistema tenga un óptimo funcionamiento:

10.2.1. Dimensionamiento de los Paneles Solares

Para dimensionar e instalar los paneles solares se deben tener en cuenta las siguientes características:

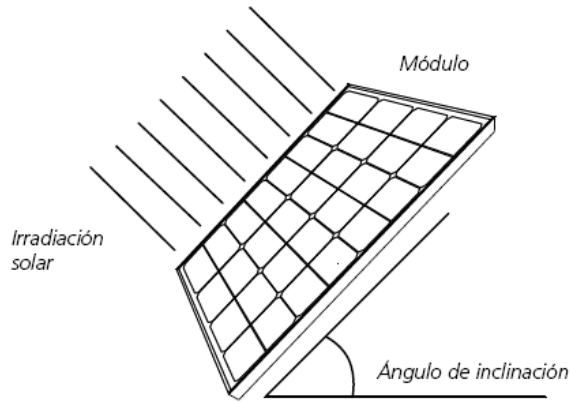
10.2.1.1 Inclinación y Orientación de los Paneles Solares

Dada la posición geográfica privilegiada que tiene Colombia, ubicada en la zona ecuatorial, y debido a que la línea del ecuador atraviesa el país por el sur, toda Colombia queda en la zona tórrida o intertropical, región de bajas latitudes; lo que hace que cuente con radiación solar constante en casi todo el territorio durante todo el año, así como, los días y las noches cuentan con igual duración.

Este efecto puede durar hasta 12 horas al día lo que permite que una instalación fotovoltaica pueda ser más económica que en otros países.

Aprovechando estas condiciones los módulos fotovoltaicos deben orientarse de tal manera que las regiones de Colombia que están en el hemisferio norte tengan una

inclinación no mayor de 15° con respecto a la horizontal y orientados hacia el sur y para las regiones ubicadas en el hemisferio sur la inclinación no debería ser mayor de 12° con respecto a la horizontal y orientados hacia el norte. En todo caso, se recomienda que la inclinación no sea menor de 10°.



Fuente [Lorentz, 2009]

10.2.1.2 Número de Paneles Solares

El número de paneles solares necesarios para la instalación fotovoltaica se determina tomando la potencia del sistema y dividiéndola por la potencia del panel escogido de la siguiente manera:

$$\#P = \frac{\dot{W}_{Sistema}}{\dot{W}_{Panel}}$$

Dónde:

#P= Número de Paneles

$\dot{W}_{Sistema}$ = potencia del sistema

\dot{W}_{Panel} = Potencia del panel seleccionado

Teniendo el número de paneles que necesita la instalación se halla el número de paneles en serie y el número de paneles en paralelo.

Paneles en serie:

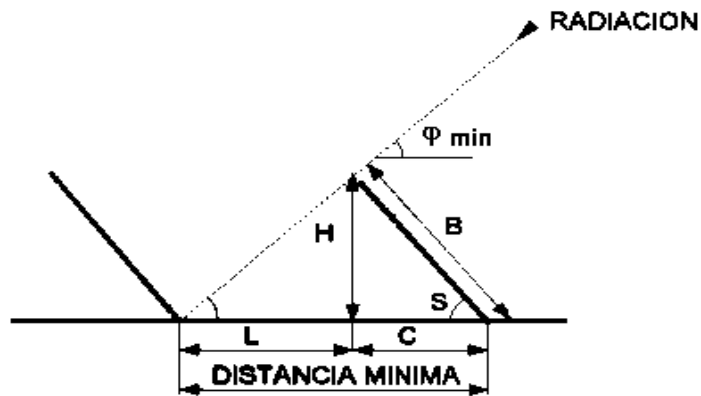
$$P_{Serie} = \frac{V_s}{V_{nominal}}$$

Paneles en Paralelo:

$$P_{Paralelo} = \frac{\#P}{P_{Serie}}$$

10.2.1.3. Distancia entre Paneles

Si se dispone de una gran cantidad de área para la instalación de los paneles solares se puede ubicar cada fila de paneles con una gran separación para evitar que durante el año la sombra de una fila se proyecte sobre otra; pero si el espacio para la ubicación de los paneles es reducido, entre filas de paneles solares debe haber una separación tal que al medio día solar en el día más desfavorable del año la sombra de la arista superior de una fila se proyecte como máximo sobre la cresta inferior de la siguiente:



Fuente [Componentes, 2009]

La distancia mínima se determina de la siguiente forma:

$$\tan \varphi = \frac{H}{L} = \frac{B * \sin S}{\text{distancia mínima} - b * \cos S}$$

$$\text{Distancia Mínima} = B * \cos S + \frac{B * \sin S}{\tan \varphi_{\min}}$$

Dónde:

S: Inclinación del panel

B: Longitud del panel

φ_{\min} : Angulo mínimo de incidencia entre el haz de radiación y la horizontal

10.2.1.4. Estructura de soporte y anclaje

La estructura de soporte tiene como función mantener los paneles solares fijos en la inclinación y orientación elegida. El soporte debe facilitar la ventilación adecuada de los módulos fotovoltaicos para minimizar el natural calentamiento de estos por la radiación solar. Es muy importante tener un buen sistema de sujeción de los

paneles, pues al ser estos ligeros pueden ser arrastrados por la fuerza del viento, la estructura debe soportar vientos de 120 km/h, también facilitar una altura mínima del panel al suelo de 30 cm. Se debe tener el respectivo cuidado para no dañar la impermeabilización en terrazas al anclar la estructura de soporte, además debe dejarse el espacio suficiente para realizar las conexiones y el mantenimiento. La estructura de soporte debe resistir como mínimo 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión, debe estar conectada a una tierra común y debe ser preferiblemente de acero inoxidable, hierro galvanizado o aluminio anodizado y la tornillería de acero inoxidable, pues estos materiales son apropiados para ambientes corrosivos y uso en la intemperie. Para los anclajes o empotramiento de la estructura se utilizan bloques de hormigón y tornillos roscados.



Figura 9

10.2.2. Capacidad de la Batería

Para dimensionar una batería en un sistema fotovoltaico se deben conocer factores como el consumo medio diario o la cantidad de carga que se requiere abastecer diariamente, no se debe olvidar que cada tipo de batería tiene una profundidad de descarga y un porcentaje de auto descarga mensual y que se deben tener en cuenta los días de autonomía de la batería para los días nublados y de lluvia donde la captación de energía es baja.

La capacidad de la batería se determina de la siguiente manera:

$$C_{Sist Bat} = \frac{E_{Ah} * DA}{PD}$$

Dónde:

E_{Ah} : Energía del sistema en Amperio hora

DA : Días de autonomía

PD : Profundidad de descarga de la batería

10.2.2.1. Diseño del Banco de Baterías

Al tener la capacidad del sistema de baterías, así como su tensión nominal se determina el número de baterías necesarias para el sistema.

Baterías en serie:

$$BS = \frac{V_{Sistema}}{V_{nom Bateria}}$$

Baterías en paralelo:

$$Bp = \frac{C_{Sist Bat}}{C_{Bateria}}$$

Es importante que el cuarto donde va a estar el grupo de baterías permita el acceso a todas y cada una de ellas respetando las distancias de trabajo establecidas por el RETIE, con su debida señalización y ventilación.

Es conveniente tenerlas en un soporte o gabinete para evitar corrientes de fuga y descarga accidental rápida o golpes que puedan destruirlas, esto además ayuda a garantizar la seguridad de los usuarios.

10.2.3. Regulador de Carga

Para definir el regulador que se necesita para el sistema fotovoltaico propuesto es necesario hallar la corriente del panel y la corriente de carga, teniendo estos valores se escoge el más alto para definir el tipo de regulador que necesita el sistema, para encontrar estos valores se utilizan las siguientes formulas:

Corriente del Panel:

$$I_{Panel} = I_{cc} * P_p$$

Siendo,

I_{cc} = Corriente de corto circuito

P_p = número de paneles en paralelo

Corriente de Carga:

$$I_{Carga} = 1,25 * \frac{W_{Instalada}}{V_{Sistema}}$$

Dónde:

$W_{Instalada}$: Potencia Instalada

$V_{Sistema}$: Voltaje del Sistema

1,25: Factor de Seguridad

Una vez encontradas las corrientes se define el tipo de regulador que se va a usar, serie, paralelo, PWM o MPPT, definido esto se debe calcular el número de paneles que se van a acoplar al regulador, ya que los paneles pueden estar conectados a un solo regulador en instalaciones pequeñas o a varios reguladores en instalaciones muy grandes.

Es recomendable utilizar el regulador MPPT que usa una tecnología específica de seguimiento y búsqueda del punto de máxima potencia de funcionamiento del generador que permite resistir sin daños los valores de tensión nominal e intensidad máxima de acuerdo a la configuración del sistema.

10.2.4. Calculo para el Inversor

Para el dimensionamiento del inversor se deben sumar todas las potencias nominales de las cargas de corriente alterna de los equipos que puedan funcionar al mismo tiempo, se debe tener en cuenta que un inversor sobredimensionado presenta un bajo rendimiento en la conversión de potencia.

Los inversores son equipos con bajo rendimiento a bajas cargas de trabajo, por lo que no es de utilidad aplicar un gran sobredimensionado en su elección.

$$W_{Inversor} = W_{Instalada}$$

El inversor se debe dimensionar de forma diferente, dependiendo si este sistema está conectado a la red o es aislado. En un sistema conectado a la red, las características del campo fotovoltaico determinan la elección del inversor. Para el caso de un sistema aislado, es necesario conocer la potencia total máxima que tendrá que conectarse al inversor. Las pérdidas de la conversión de CC a CA,

oscila entre el 25% (bajo valor de potencia) y el 9% (alto valor de potencia) de la potencia suministrada a la entrada, lo cual aumentará el consumo de la carga.

Para seleccionar el inversor, se sabe que en el mercado se encuentran inversores de onda senoidal pura (PWM) y de onda senoidal modificada (MSW). Lo más recomendable es utilizar, siempre que sea posible, los de onda senoidal pura pues aunque son algo más caros, evitarán más de un problema que podría presentarse.

10.3. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LOS CONJUNTOS RESIDENCIALES ESCOGIDOS

Para este proyecto se escogieron tres conjuntos residenciales del área metropolitana de Pereira y Dosquebradas. Los conjuntos escogidos están ubicados en los estratos 4,5 y 6, donde se quiere mostrar como varía el consumo dependiendo del estrato al que pertenezca.

Los conjuntos escogidos son de diferente tamaño grande, mediano y pequeño, lo que permite hacer un comparativo en el consumo energético en sus zonas comunes.

10.3.1. OPCIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA

Cuando se habla del diseño del sistema lo que se quiere es definir la dimensión de los elementos que lo componen, la cantidad, capacidad y finalidad.

Para el caso de los conjuntos residenciales se hará el análisis para las zonas comunes ya que estas están bajo el manejo de la administración de cada conjunto.

Las opciones de diseño varían de acuerdo a la finalidad que se desee, para este proyecto se cubrirá el total de la energía consumida en las zonas comunes de los conjuntos escogidos.

10.3.2. METODOLOGIA DEL DISEÑO DEL SISTEMA

Los pasos a seguir para diseñar el sistema fotovoltaico de las áreas comunes de los conjuntos residenciales son los siguientes:

10.3.2.1 Análisis Energético

Es el que define la carga que se va a suplir con el sistema fotovoltaico basándose en la disponibilidad energética solar que haya en el lugar de ubicación del conjunto y el consumo del sistema a suplir.

- **Disponibilidad energética**

Depende del área que se tenga disponible así como el tipo de paneles que se van a utilizar.

La radiación solar disponible para la zona en la cual están ubicados los conjuntos residenciales seleccionados es de $4,21 \text{ kWh/m}^2$. La hora solar pico (HSP) es una unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 (figura 10)

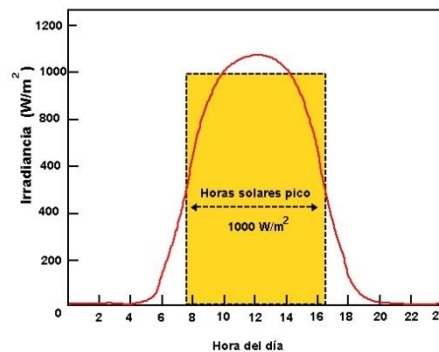


Figura 10

La Radiación está determinada por el área bajo la curva definida por irradiación a lo largo del día y es equivalente al área del rectángulo de altura 1 kW/m^2 y un ancho equivalente a la hora solar pico (HSP)

- **Área Requerida:** es el área necesaria en la cual se va a instalar el sistema de paneles fotovoltaicos. En los conjuntos residenciales el área que se podría utilizar para este sistema es la de los techos del salón social, pues esta no tiene ninguna función específica.

- **Energía Consumida**

Para sistemas fotovoltaicos es necesario tener un registro o estimación de la energía consumida lo más exacto posible para cuestiones de dimensionamiento de los elementos del mismo.

Cuando no se tiene registro horario o no se planea alimentar toda la carga del

usuario objetivo es necesario realizar una estimación de acuerdo a la carga instalada o efectuar las medidas de carga a través del tiempo. Para realizar la estimación se deben tener en cuenta los equipos conectados a la instalación y el tiempo que estos duran encendidos durante el periodo de tiempo requerido (días o meses según sea necesario).

Teniendo la potencia instalada del sistema que se va a dimensionar se define la energía total del sistema, la energía del sistema en amperio hora y la potencia del sistema.

Energía total del sistema:

$$E_{TS} = \frac{E_S}{FS}$$

Dónde:

E_S : Energía del sistema

FS : Factor de seguridad

Energía en Amperio hora:

$$E_{Ah} = \frac{E_{TS}}{V_S}$$

Dónde:

E_{TS} : Energía total del sistema

V_S : Voltaje del sistema

Potencia del sistema:

$$\dot{W}_{Sistema} = \frac{E_{TS}}{HPS}$$

Dónde:

E_{TS} : Energía total del sistema

HPS : Horas Pico Solares

Conocida la energía consumida por el sistema se hace el cálculo de los componentes del sistema de la siguiente manera:

10.3.2.2. Cantidad de Paneles Definitivos

La cantidad de paneles requerida por el sistema se hace de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\#P = \frac{\dot{W}_{Sistema}}{\dot{W}_{Panel}}$$

Dónde:

$\dot{W}_{Sistema}$: Capacidad o Potencia del Sistema

\dot{W}_{Panel} : Potencia del panel

Teniendo la cantidad de paneles que necesita el sistema se procede a definir cuantos paneles deben ir conectados en serie y cuantos en paralelo, esto se hace mediante las ecuaciones siguientes:

- **Paneles en serie:** para determinar el número de paneles en serie es necesario conocer el punto de máxima potencia del panel que se va a utilizar (V_{mp}).

$$P_{Serie} = \frac{V_{Sistema}}{V_{mp}}$$

Dónde:

$V_{Sistema}$: Tensión del Sistema

V_{mp} : Potencia máxima del panel

- **Paneles en Paralelo:** para calcular los paneles en paralelo se usa la siguiente expresión:

$$P_P = \frac{\#P}{P_{Serie}}$$

Dónde:

$\#P$: Numero de Paneles del Sistema

P_{Serie} : Paneles en serie

10.3.2.3. Banco de Baterías

El banco de baterías se dimensiona teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- a) **Capacidad del Banco de Baterías:** Para hallar la capacidad del banco de baterías es necesario conocer la energía en amperio hora del sistema, los días de autonomía y la profundidad e descarga de la batería seleccionada.

$$C_{B.Bat} = \frac{E_{Ah} * DA}{PD}$$

Dónde:

E_{Ah} : Energía en Amperio hora

DA : Días de Autonomía

PD : Profundidad de Descarga

- b) **Baterías en Paralelo:** se determinan de la siguiente manera:

$$B_{Paralelo} = \frac{C_{Sist Bat}}{C_{Bateria}}$$

Dónde:

$C_{Sist Bat}$: Capacidad del sistema de baterías

$C_{Bateria}$: Capacidad de la batería seleccionada

c) Baterías en Serie:

$$B_{Serie} = \frac{V_{Sistema}}{V_{Bat}}$$

Dónde:

$V_{Sistema}$: Tensión del Sistema

V_{Bat} : Voltaje de la Batería

10.3.2.4. Regulador de Carga

Para dimensionar el regulador de carga o los reguladores que sean necesarios para el sistema se hace de la siguiente manera:

Corriente del Panel:

$$I_{Panel} = I_{cc} * P_p$$

Corriente de Carga:

$$I_{Carga} = 1,25 * \frac{\dot{W}_{Instalada}}{V_{Sistema}}$$

10.3.2.5. Inversor

Para determinar el inversor se tiene en cuenta la potencia instalada.

$$\dot{W}_{Inversor} = \dot{W}_{Instalada}$$

11. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONJUNTOS RESIDENCIALES

A continuación se establecen los cálculos del sistema para tres conjuntos residenciales ubicados en diferentes estratos en el sector Pereira-Dosquebradas y con distintas capacidades de carga instaladas en sus zonas comunes.

Los conjuntos son:

Conjunto	Dirección	Dimensión	Estrato	Consumo energético mensual promedio kWh/mes
Portal del Sol	Cra 16 No 36-44 Dosquebradas	30 casas	4	528
Santa Clara de las Villas	Cra 89 No. 29-86	200 casas	5	4953
Caminos de Canaan	Calle 12 No. 33-15	26 casa	6	540

Teniendo la información anterior se procede al dimensionamiento de cada uno de los conjuntos seleccionados de la siguiente manera:

11.1 CONJUNTO RESIDENCIAL SANTA CLARA DE LAS VILLAS

Este conjunto está ubicado en la ciudad de Pereira en la calle 89 No 29-86, pertenece al estrato 5.

❖ Análisis Energético

- Disponibilidad energética

La radiación solar disponible para la zona en la cual está ubicado el conjunto residencial es de 4,21 kWh/m², que es la radiación promedio de la zona geográfica del área metropolitana Pereira – Dosquebradas.

- **Área Requerida:** Para este conjunto el área requerida para la instalación de los paneles solares es de 380 m² aproximadamente sin sombra. El sitio donde podrían ser ubicados sería el techo del salón social, pues este no tiene ninguna función específica.

- **Energía Consumida**

En el siguiente cuadro se muestra la energía consumida en las zonas comunes del conjunto residencial. Estos datos se tomaron con la ayuda del electricista del conjunto.

DISPOSITIVO	WATT	#	POTENCIA W(watios)	TIEMPO (horas)	ENERGIA Wh
BOMBILLO	85	79	6715	12	80580
REFLECTORES	300	11	3300	12	39600
REFLECTORES	250	1	250	4	1000
REFLECTORES	150	1	150	4	600
LAMPARAS	400	10	4000	4	16000
LAMPARA	250	1	250	4	1000
LAMPARAS GIMNASIO	32	12	384	8	3072
SALON SOCIAL	20	13	260	8	2080
PORTERIA	20	5	100	12	1200
PISCINA	700	1	700	4	2800
JACUSSI	700	1	700	10	7000
MOTOR PUERTA	36	1	36	1	36
TALANQUERA (BRAZO PORTERIA)			0	10	0
REFLECTORES PISCINA	10	5	50	1,5	75
CONSOLAS CITOFONIA		2	24		0
EQUIPO DE SONIDO	80	1	80	8	640
TELEVISOR	200	1	200	2	400
TELEVISOR GIMNASIO	100	1	100	8	800
MONITOR PEQUEÑO	40	1	40	24	960
MONITOR GRANDE	94	1	94	24	2256
			0		
TOTAL			16859		160099

POTENCA INSTALADA EN W	16859,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL DIA EN Wh	160099,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Wh	4802970,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN KWh	4802,97

El valor de consumo anterior no tiene en cuenta las perdidas localizadas de los componentes y equipos situados entre los generadores solares y la instalación

eléctrica de las zonas comunes del conjunto, esto es, el regulador, las baterías y el inversor o convertidor de corriente.

A continuación se estiman unos rendimientos para cada componente, los cuales deben ser comprobados una vez se hayan seleccionado los modelos reales del sistema instalar.

- Rendimiento Regulador, $\eta_{Reg.} = 0.96$
- Rendimiento Baterías, $\eta_{Bat.} = 0.98$
- Rendimiento Inversor, $\eta_{Inv.} = 0.96$

Teniendo en cuenta los rendimientos anteriores se saca el consumo estimado diario:

$$E_{Rd} = \frac{160099 \text{ Wh/dia}}{0.903168} = 177263,81 \text{ Wh/dia}$$

También se puede expresar este consumo en Amperios hora día usando la siguiente expresión:

$$E_{Ahd} = \frac{E_{Rd}}{V_{Sist}}$$

Donde V_{Sist} es la tensión de trabajo del sistema, que en este caso es de 120 V.

$$E_{Ahd} = \frac{177263,81 \text{ Wh}}{120 \text{ V}} = 1477,198 \text{ Ah/dia}$$

Es necesario conocer la potencia pico del sistema dado que con ella se harán la mayoría de los cálculos. Esto se hace de la siguiente manera:

$$\dot{W}_{sistema} = \frac{E_{TS}}{HPS}$$

$$\dot{W}_{sistema} = \frac{177263,81 \text{ A}}{4,21} = 42105.417 \text{ W}$$

❖ Cantidad de paneles Definitivos

Se hace de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\#P = \frac{42105,417 \text{ Wh}}{250 \text{ W}} = 168,421 \approx 169$$

Para establecer la conexión entre los módulos o paneles, en serie o en paralelo, se tiene en cuenta el tipo de panel a usar y sus características.

Paneles en serie: para determinar el número de paneles en serie es necesario conocer el punto de máxima potencia del panel que se va a utilizar (V_{mp})

$$P_{serie} = \frac{120 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 5$$

Paneles en Paralelo: para calcular los paneles en paralelo se usa la siguiente expresión:

$$P_p = \frac{169}{5} = 33,8 \approx 34$$

De lo anterior se puede ver que para satisfacer la demanda eléctrica de las zonas comunes del conjunto residencial se necesitan 170 paneles organizados 34 ramales en paralelo con 5 paneles por ramal.

❖ Banco de Baterías

Para el cálculo de las baterías o acumuladores los parámetros a tener en cuenta son los siguientes:

Profundidad de descarga, PD

Capacidad de la batería

Número de días de autonomía, DA,

- **Capacidad del Banco de Baterías:** Para dimensionar el banco de baterías es necesario calcular la corriente de carga AC que se va a tomar de la batería. Esto se hace con la siguiente formula:

$$C_{Bat.} = \frac{177263,81 \text{ A} * 1}{0,80} = 1846,498 \text{ A}$$

Teniendo la capacidad del sistema de baterías se determina la cantidad de baterías necesarias para el sistema:

Baterías en Serie: para determinar el número de baterías en serie se toma el Voltaje del sistema y se divide por el voltaje nominal de la batería.

$$B_{serie} = \frac{120 V}{12 V} = 10$$

Baterías en Paralelo: Es el número de baterías que necesita el sistema y se determina de la siguiente manera:

$$B_{paralelo} = \frac{1846,498 Ah}{200 Ah} = 9,232 \approx 10$$

El número de baterías necesarias para el sistema propuesto es de 100 baterías, este valor se obtiene de multiplicar el número de baterías en serie por el número de baterías en paralelo.

❖ Regulador de Carga

Para dimensionar el regulador de carga del sistema propuesto se calcula la corriente del panel y la corriente de carga.

$$I_{panel} = 9.2 A * 34 = 312.8 A$$

$$I_{carga} = 1,25 * \frac{42105,417 W}{120 V} = 175.989 A$$

Para este sistema se recomienda un regulador MPPT que debe soportar una corriente de 313 A.

❖ Inversor

En cuanto a la potencia nominal que debe tener el inversor, este debe satisfacer la potencia máxima instalada

$$W_{inversor} = 16895 W$$

Para este sistema tan grande se recomienda un inversor PWM con una capacidad de 17000 W.

Por ser un sistema tan grande es necesario utilizar 6 inversores de 3000 W cada uno.

❖ Costo Sistema Fotovoltaico

COTIZACION ELEMENTOS SISTEMA FOTOVOLTAICO				
ELEMENTO	CARACTERISTICAS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
PANEL SOLAR	250 W	170	\$ 686.070,00	\$ 116.631.900,00
BATERIAS	200 A - 12V	100	\$ 853.000,00	\$ 85.300.000,00
REGULADOR	MPPT 60A- 12V/48V	6	\$ 1.736.955,00	\$ 10.421.730,00
INVERSOR	3000W - 48V	6	\$ 1.684.320,00	\$ 10.105.920,00
INSTALACION				\$ 22.245.955,00
TOTAL				\$ 244.705.505,00

Como se puede ver, por ser un conjunto tan grande se recomienda cambiar la iluminación existente por iluminación LED la cual permite un ahorro en el consumo entre el 65% y 70% lo que se refleja en el costo de la factura y en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico como se muestra a continuación.

11.1.1. Conjunto Residencial Santa Clara de las Villas (LED)

Para este conjunto se hace una propuesta de cambiar la iluminación existente por iluminación LED. En la actualidad las eficiencias lumínicas de 100 lúmenes por vatio en las lámparas LED permiten un ahorro del 65% comparado con la iluminación convencional. Sin embargo las nuevas tecnologías LED con eficiencias lumínicas por encima de 150 lúmenes por vatio van a permitir ahorros hasta del 80%.

La calidad de la luz LED es mucho mejor porque tiene temperaturas de color desde 4000 K hasta 6000 K permitiendo una luz blanca más agradable para el ojo humano dando la sensación de mayor iluminación con la misma cantidad de lúmenes.

La eficiencia en las fuentes de iluminación LED y en los paneles solares están haciendo más factibles los proyectos fotovoltaicos de alumbrado público.

❖ Análisis Energético

• Energía Consumida

En el siguiente cuadro se muestra la energía consumida en las zonas comunes del conjunto residencial con el horro estimado si se cambia la iluminación existente por iluminación LED.

DISPOSITIVO	WATT	AHORRO EN LED	#	POTENCIA W(watios)	TIEMPO (horas)	ENERGIA Wh
BOMBILLO	85	29,75	79	2350,25	12	28203
REFLECTORES	300	105	11	1155	12	13860
REFLECTORES	250	87,5	1	87,5	4	350
REFLECTORES	150	52,5	1	52,5	4	210
LAMPARAS	400	140	10	1400	4	5600
LAMPARA	250	87,5	1	87,5	4	350
LAMPARAS GIMNASIO	32	11,2	12	134,4	8	1075,2
SALON SOCIAL	20	7	13	91	8	728
PORTERIA	20	7	5	35	12	420
REFLECTORES PISCINA	10	3,5	5	17,5	1,5	26,25
PISCINA	700		1	700	4	2800
JACUSSI	700		1	700	10	7000
MOTOR PUERTA	36		1	36	1	36
TALANQUERA (BRAZO PORTERIA)			1	0	10	0
SAUNA				0		0
CONSOLAS CITOFOIA			2	0	24	0
EQUIPO DE SONIDO	80		1	80	8	640
TELEVISOR	200		1	200	2	400
TELEVISOR GIMNASIO	100		1	100	8	800
MONITOR PEQUEÑO	40		1	40	24	960
MONITOR GRANDE	94		1	94	24	2256
				0		
TOTAL				6846,65		65714,5

POTENCA INSTALADA EN W

6846,65

ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL DIA EN Wh

65714,45

ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Wh

1971433,50

ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN KWh

1971,43

Como se puede ver al proponer el cambio de la iluminación a LED el consumo de energía se reduce en un 60% aproximadamente lo que hace que la propuesta de poner un sistema fotovoltaico que alimente las zonas comunes sea más pequeño que el propuesto inicialmente y a su vez mas económico.

Para esta propuesta la energía requerida teniendo en cuenta los rendimientos requeridos por las baterías, el regulador y el inversor es:

$$E_{Rd} = \frac{65714,45 \text{ Wh/dia}}{0.903} = 72759,94 \text{ Wh/dia}$$

También se puede expresar este consumo en Amperios hora día usando la siguiente expresión:

$$E_{Ahd} = \frac{72759,94 \text{ Wh}}{120 \text{ V}} = 606,332 \text{ Ah/dia}$$

Se halla la potencia pico del sistema

$$\dot{W}_{Pico} = \frac{72759,94 \text{ A}}{4,21} = 17282,646 \text{ W}$$

❖ Cantidad de paneles Definitivos

Se hace de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\#P = \frac{17282,646 \text{ Wh}}{250 \text{ W}} = 69,130 \approx 70$$

Paneles en serie:

$$P_{Serie} = \frac{120 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 5$$

Paneles en Paralelo:

$$P_p = \frac{70}{5} = 13,826 \approx 14$$

De lo anterior se puede ver que para satisfacer la demanda eléctrica de las zonas comunes del conjunto residencial se necesitan 70 paneles organizados en 14 ramales en paralelo con 5 paneles por ramal.

Con la propuesta de LED se observa como el sistema bajo de 170 paneles en la propuesta inicial a 70 paneles lo que implica un ahorro en el costo del sistema además del valor en consumo que se ve reflejado en la tabla de energía consumida.

❖ Banco de Baterías

- Capacidad del Banco de Baterías:

$$C_{Bat.} = \frac{606,632 A * 1}{0,80} = 757,916 A$$

Baterías en Serie:

$$B_{serie} = \frac{120 V}{12 V} = 10$$

Baterías en Paralelo:

$$B_{Paralelo} = \frac{757,916 Ah}{200 Ah} = 3,789 \approx 4$$

La cantidad de baterías requeridas para esta propuesta es de 40, lo que muestra una disminución de 60 baterías con respecto a la propuesta inicial.

❖ Regulador de Carga

Para dimensionar el regulador de carga del sistema propuesto se calcula la corriente del panel y la corriente de carga.

$$I_{Panel} = 9.2 A * 14 = 128,8 A$$

$$I_{Carga} = 1,25 * \frac{6846,65 W}{120 V} = 71,319 A$$

El regulador que se seleccione debe soportar una corriente de 129 A.

❖ Inversor

En cuanto a la potencia nominal que debe tener el inversor, este debe satisfacer la potencia máxima instalada

$$W_{inversor} = 6846,65 W$$

Para este sistema tan grande se recomienda un inversor PWM con una capacidad de 6900 W.

❖ Costo del Sistema Fotovoltaico

COTIZACION ELEMENTOS SISTEMA FOTOVOLTAICO				
ELEMENTO	CARACTERISTICAS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
PANEL SOLAR	250 W	70	\$ 686.070,00	\$ 48.024.900,00
BATERIAS	200A - 12V	40	\$ 853.000,00	\$ 34.120.000,00
REGULADOR	MPPT 60A- 12V/48V	3	\$ 1.736.955,00	\$ 5.210.865,00
INVERSOR	3000W - 48V	3	\$ 1.684.320,00	\$ 5.052.960,00
INSTALACION				\$ 9.240.872,50
TOTAL				\$ 101.649.597,50

Como se puede ver al cambiar la iluminación a LED el consumo de energía y los costos del sistema propuesto bajan considerablemente lo que hace que sea más viable la instalación del sistema.

A pesar de esto para un sistema tan grande lo mejor es que se utilice un sistema conectado a la red que permite que bajen más los costos del sistema.

11.2. CONJUNTO RESIDENCIAL CAMINOS DE CANAAN

Está ubicado en la ciudad de Pereira en la calle 12 No 33-15, pertenece al estrato 6.

❖ Análisis Energético

• Disponibilidad energética

La radiación solar disponible en la zona donde está ubicado el conjunto residencial es de 4,21 kWh/m², que es la radiación promedio de la zona geográfica del área metropolitana Pereira – Dosquebradas.

- **Área Requerida:** Para este conjunto el área requerida para la instalación de los paneles solares es de 100 m² aproximadamente sin sombra. El sitio donde podrían ser ubicados sería el techo del salón social, pues este no tiene ninguna función específica.

• Energía Consumida

En el siguiente cuadro se muestra la energía consumida en las zonas comunes del conjunto residencial.

DISPOSITIVO	WATT	#	POTENCIA W(watios)	TIEMPO (horas)	ENERGIA Wh
LAMPARAS DE SODIO	150	10	1500	12	18000
BOMBILLO AHORRADOR	20	4	80	12	960
MOTOR APERTURA PUERTA	100	1	100	24	2400
BOMBA MTO PISCINA	1000	1	1000	3	3000
CAMARAS DE VIGILANCIA Y EQUIPO DE COMPUTO	50	1	50	24	1200
LAMPARAS GIMNASIO			0		0
SALON SOCIAL			0		0
PORTERIA			0		0
TOTAL			2730		25560

POTENCA INSTALADA	2730,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL DIA EN Wh	25560,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Wh	766800,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Kwh	766,80

El valor de consumo anterior no tiene en cuenta las perdidas localizadas de los componentes y equipos situados entre los generadores solares y la instalación eléctrica de las zonas comunes del conjunto, esto es, el regulador, las baterías y el inversor o convertidor de corriente.

A continuación se estiman unos rendimientos para cada componente, los cuales deben ser comprobados una vez se hayan seleccionado los modelos reales del sistema instalar.

- Rendimiento Regulador, $\eta_{Reg.} = 0.96$
- Rendimiento Baterías, $\eta_{Bat.} = 0.98$
- Rendimiento Inversor, $\eta_{Inv.} = 0.96$

Teniendo en cuenta los rendimientos anteriores se saca el consumo estimado diario:

$$E_{Rd} = \frac{25560 \text{ Wh/dia}}{0.903168} = 28300,38 \text{ Wh/dia}$$

También se puede expresar este consumo en Amperios hora día usando la siguiente expresión:

$$E_{Ahd} = \frac{28300,38 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 589,591 \text{ Ah/dia}$$

Es necesario conocer la potencia pico del sistema dado que con ella se harán la mayoría de los cálculos. Esto se hace de la siguiente manera:

$$W_{Sistema} = \frac{28300,38 A}{4,21} = 6722,181 W$$

❖ Cantidad de paneles Definitivos

Se hace de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\#P = \frac{6722,181 Wh}{250 W} = 26,888 \approx 27$$

Para establecer la conexión entre los módulos o paneles, en serie o en paralelo, se tiene en cuenta el tipo de panel a usar y sus características.

Paneles en serie:

$$P_{Serie} = \frac{48 V}{24 V} = 2$$

Paneles en Paralelo:

$$P_P = \frac{27}{2} = 13,5 \approx 14$$

De lo anterior se puede ver que para satisfacer la demanda eléctrica de las zonas comunes del conjunto residencial se necesitan 14 ramales en paralelo con 2 paneles por ramal.

❖ Banco de Baterías

- Capacidad del Banco de Baterías:

-

$$C_{Bat.} = \frac{589,591 A * 1}{0,80} = 736,989 A$$

Teniendo la capacidad del sistema de baterías se determina la cantidad de baterías necesarias para el sistema:

Baterías en Serie: para determinar el número de baterías en serie se toma el Voltaje del sistema y se divide por el voltaje nominal de la batería.

$$B_{serie} = \frac{48 V}{12 V} = 4$$

Baterías en Paralelo: Es el número de baterías que necesita el sistema y se determina de la siguiente manera:

$$B_{Paralelo} = \frac{736,989 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah}} = 3,684 \approx 4$$

El número de baterías necesarias para el sistema propuesto es de 16 baterías, este valor se obtiene de multiplicar el número de baterías en serie por el número de baterías en paralelo.

❖ **Regulador de Carga**

Para dimensionar el regulador de carga del sistema propuesto se calcula la corriente del panel y la corriente de carga.

$$I_{Panel} = 9.2 \text{ A} * 14 = 128,8 \text{ A}$$

$$I_{Carga} = 1,25 * \frac{2730 \text{ W}}{48\text{V}} = 71,093 \text{ A}$$

El regulador que se seleccione debe soportar una corriente de 129 A.

❖ **Inversor**

En cuanto a la potencia nominal que debe tener el inversor, este debe satisfacer la potencia máxima instalada

$$W_{inversor} = 2730 \text{ W}$$

Para este sistema se recomienda un inversor PWM con una capacidad de 2730 W.

Los cálculos anteriores se hicieron con los datos reales tomados en el conjunto con la persona encargada del mismo.

❖ **Costo del Sistema Fotovoltaico**

COTIZACION ELEMENTOS SISTEMA FOTOVOLTAICO				
ELEMENTO	CARACTERISTICAS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
PANEL SOLAR	250 W	28	\$ 686.070,00	\$ 19.209.960,00
BATERIAS	190A - 12V	16	\$ 853.000,00	\$ 13.648.000,00
REGULADOR	60A- 12V/48V	3	\$ 1.736.955,00	\$ 5.210.865,00
INVERSOR	3000W - 48V	1	\$ 1.684.320,00	\$ 1.684.320,00
				\$ 9.938.286,25
TOTAL				\$ 49.691.431,25

Este es un conjunto que por pertenecer al estrato 6 tiene un costo muy alto en su factura de energía, por lo tanto se recomienda cambiar la iluminación existente por LED lo que permite un ahorro en el consumo entre el 65% y 70% el cual se verá reflejado en el costo de la factura y en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico como se muestra a continuación.

11.2.1. Conjunto Residencial Caminos de Canaan (LED)

❖ **Análisis Energético**

- **Energía Consumida**

En el siguiente cuadro se muestra la energía consumida en las zonas comunes del conjunto residencial.

DISPOSITIVO	WATT	#	POTENCIA W(watios)	TIEMPO (horas)	ENERGI A Wh
LAMPARAS LED	60	10	600	12	7200
BOMBILLO LED	7	4	28	12	336
MOTOR APERTURA PUERTA	100	1	100	24	2400
BOMBA MTO PISCINA	1000	1	1000	3	3000
CAMARAS DE VIGILANCIA Y EQUIPO DE COMPUTO	50	1	50	24	1200
			0		0
			0		0
TOTAL			1778		14136

POTENCA INSTALADA	1778,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL DIA EN Wh	14136,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Wh	424080,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Kwh	424,08

Al hacer el cambio de iluminación a LED se tiene el siguiente sistema:

$$E_{Rd} = \frac{14136 \text{ Wh/dia}}{0.903168} = 15651,573 \text{ Wh/dia}$$

También se puede expresar este consumo en Amperios hora día usando la siguiente expresión:

$$E_{Ahd} = \frac{15651,573 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 326,074 \text{ Ah/dia}$$

Es necesario conocer la potencia pico del sistema dado que con ella se harán la mayoría de los cálculos. Esto se hace de la siguiente manera:

$$\dot{W}_{Sistema} = \frac{15651,573 \text{ A}}{4,21} = 3717,713 \text{ W}$$

❖ Cantidad de paneles Definitivos

Se hace de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\#P = \frac{3717,713 \text{ Wh}}{250 \text{ W}} = 14,870 \approx 16$$

Paneles en serie:

$$P_{Serie} = \frac{48 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 2$$

Paneles en Paralelo:

$$P_p = \frac{15}{2} = 7,5 \approx 8$$

De lo anterior se puede ver que para satisfacer la demanda eléctrica de las zonas comunes del conjunto residencial se necesitan 8 ramales en paralelo con 2 paneles por ramal. Comparado con la propuesta inicial se están ahorrando 12 paneles que hacen que el costo del sistema sea más económico.

❖ Banco de Baterías

- Capacidad del Banco de Baterías:

$$C_{Bat.} = \frac{326,074 A * 1}{0,80} = 407,593 A$$

Teniendo la capacidad del sistema de baterías se determina la cantidad de baterías necesarias para el sistema:

Baterías en Serie:

$$B_{serie} = \frac{48 V}{12 V} = 4$$

Baterías en Paralelo:

$$B_{paralelo} = \frac{407,593 Ah}{200 Ah} = 2,037 \approx 3$$

El número de baterías necesarias para el sistema propuesto es de 12 baterías, si se compara con la propuesta inicial se están ahorrando 4 baterías que hacen que los costos del sistema sean más económicos.

❖ Regulador de Carga

Para dimensionar el regulador de carga del sistema propuesto se calcula la corriente del panel y la corriente de carga.

$$I_{panel} = 9.2 A * 8 = 73,6 A$$

$$I_{carga} = 1,25 * \frac{1778 W}{48V} = 46,302 A$$

Se recomienda un regulador MPPT que debe soportar una corriente de 74 A.

❖ Inversor

En cuanto a la potencia nominal que debe tener el inversor, este debe satisfacer la potencia máxima instalada

$$W_{inversor} = 1778 W$$

Para este sistema se recomienda un inversor PWM con una capacidad de 1778 W.

❖ Costo Sistema Fotovoltaico

COTIZACION ELEMENTOS SISTEMA FOTOVOLTAICO				
ELEMENTO	CARACTERISTICAS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
PANEL SOLAR	250 W	16	\$ 686.070,00	\$ 10.977.120,00
BATERIAS	190A - 12V	12	\$ 853.000,00	\$ 10.236.000,00
REGULADOR	40A- 12V/48V	2	\$ 1.001.080,00	\$ 2.002.160,00
INVERSOR	2000W - 48V	1	\$ 1.473.780,00	\$ 1.473.780,00
INSTALACION				\$ 2.468.906,00
TOTAL				\$ 27.157.966,00

Al sustituir las luminarias convencionales por luminarias LED se ve como el consumo de energía baja casi a la mitad y al hacer el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se observa como los elementos que se requieren bajan en cantidad por lo tanto el costo del sistema también baja

11.3. CONJUNTO RESIDENCIAL PORTAL DEL SOL

Ubicado en la carrera 16 No 36-44 en la ciudad de Dosquebradas, pertenece al estrato 4.

❖ Análisis Energético

• Disponibilidad energética

La radiación solar disponible para la zona en la cual está ubicado el conjunto residencial es de 4,21 kWh/m², que es la radiación promedio de la zona geográfica del área metropolitana Pereira – Dosquebradas.

- **Área Requerida:** Para este conjunto el área requerida para la instalación de los paneles solares es de 60 m² aproximadamente sin sombra. El sitio donde podrían ser ubicados sería el techo del salón social, pues este no tiene ninguna función específica.

• Energía Consumida

En el siguiente cuadro se muestra la energía consumida en las zonas comunes del conjunto residencial, datos que fueron tomados con el electricista del conjunto.

DISPOSITIVO	WATT	#	POTENCIA W(watios)	TIEMPO (horas)	ENERGIA Wh
LUMINARIAS	28	17	476	12	5712
REFLECTORES	50	5	250	12	3000
LUMINARIAS (AHORRADORES)	65	6	390	4	1560
CAMARAS DE VIGILANCIA	1	15	15	24	360
GRABADORA	22	1	22	4	88
BOMBILLO	20	1	20	4	80
MONITORES	60	1	60	24	1440
SALON SOCIAL	32	2	64	3	192
PORTERIA	23	1	23	12	276
MOTOBOMBA PISCINA	700	1	700	1	700
ADMINISTRACION	23	2	46	6	276
REFLECTORES PISCINA	30	3	90	4	360
MOTOR PUERTA			0		0
TALANQUERA (BRAZO PORTERIA)			0		0
			0		0
			0		
TOTAL			2156		14044

POTENCA INSTALADA		2156,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL DIA EN Wh		14044,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Wh		421320,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Kwh		421,32

El valor de consumo anterior no tiene en cuenta las perdidas localizadas de los componentes y equipos situados entre los generadores solares y la instalación eléctrica de las zonas comunes del conjunto, esto es, el regulador, las baterías y el inversor o convertidor de corriente.

A continuación se estiman unos rendimientos para cada componente, los cuales deben ser comprobados una vez se hayan seleccionado los modelos reales del sistema instalar.

- Rendimiento Regulador, $\eta_{Reg.} = 0.96$
- Rendimiento Baterías, $\eta_{Bat.} = 0.98$
- Rendimiento Inversor, $\eta_{Inv.} = 0.96$

Teniendo en cuenta los rendimientos anteriores se saca el consumo estimado diario:

$$E_{Rd} = \frac{14044 \text{ Wh/dia}}{0.903168} = 15549,71 \text{ Wh/dia}$$

También se puede expresar este consumo en Amperios hora día usando la siguiente expresión:

$$E_{Ahd} = \frac{15549,71 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 323,952 \text{ Ah/dia}$$

Es necesario conocer la potencia pico del sistema dado que con ella se harán la mayoría de los cálculos. Esto se hace de la siguiente manera:

$$W_{Sistema} = \frac{15549,71 \text{ A}}{4,21} = 3693,517 \text{ W}$$

❖ Cantidad de paneles Definitivos

Se hace de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\#P = \frac{3693,517 \text{ Wh}}{250 \text{ W}} = 14,774 \approx 16$$

Paneles en serie:

$$P_{Serie} = \frac{48 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 2$$

Paneles en Paralelo:

$$P_p = \frac{15}{2} = 7,5 \approx 8$$

De lo anterior se puede ver que para satisfacer la demanda eléctrica de las zonas comunes del conjunto residencial se necesitan 8 ramales en paralelo con 2 paneles por ramal.

❖ Banco de Baterías

- **Capacidad del Banco de Baterías:**

$$C_{Bat.} = \frac{323,952 \text{ A} * 1}{0,80} = 404,940 \text{ A}$$

Teniendo la capacidad del sistema de baterías se determina la cantidad de baterías necesarias para el sistema:

Baterías en Serie:

$$B_{serie} = \frac{48 V}{12 V} = 4$$

Baterías en Paralelo:

$$B_{paralelo} = \frac{404,940 Ah}{200 Ah} = 2,024 \approx 3$$

El número de baterías necesarias para el sistema propuesto es de 12 baterías, este valor se obtiene de multiplicar el número de baterías en serie por el número de baterías en paralelo.

❖ Regulador de Carga

Para dimensionar el regulador de carga del sistema propuesto se calcula la corriente del panel y la corriente de carga.

$$I_{panel} = 9.2 A * 8 = 73,6 A$$

$$I_{carga} = 1,25 * \frac{2156 W}{48V} = 56,14 A$$

Para este sistema se recomienda un regulador MPPT que debe soportar una corriente de 74 A.

❖ Inversor

En cuanto a la potencia nominal que debe tener el inversor, este debe satisfacer la potencia máxima instalada

$$W_{inversor} = 2156 W$$

Para este sistema se recomienda un inversor PWM con una capacidad de 2156 W.

❖ Costo Sistema Fotovoltaico

COTIZACION ELEMENTOS SISTEMA FOTOVOLTAICO				
ELEMENTO	CARACTERISTICAS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
PANEL SOLAR	250 W	16	\$ 686.070,00	\$ 10.977.120,00
BATERIAS	190A - 12V	12	\$ 853.000,00	\$ 10.236.000,00
REGULADOR	40A- 12V/48V	2	\$ 1.001.080,00	\$ 2.002.160,00
INVERSOR	3000W - 48V	1	\$ 1.684.320,00	\$ 1.684.320,00
INSTALACION				\$ 2.489.960,00
TOTAL				\$ 27.389.560,00

Para este conjunto también es recomendable cambiar las luminarias existentes por luminarias LED, a continuación se muestra cómo quedaría el sistema con iluminación LED.

11.3.1. Conjunto Residencial Portal del Sol (LED)

Ubicado en la carrera 16 No 36-44 en la ciudad de Dosquebradas, pertenece al estrato 4.

❖ Análisis Energético

• Disponibilidad energética

La radiación solar disponible para la zona en la cual está ubicado el conjunto residencial es de 4,21 kWh/m², que es la radiación promedio de la zona geográfica del área metropolitana Pereira – Dosquebradas.

- **Área Requerida:** Para este conjunto el área requerida para la instalación de los paneles solares es de 60 m² aproximadamente sin sombra. El sitio donde podrían ser ubicados sería el techo del salón social, pues este no tiene ninguna función específica.

• Energía Consumida

En el siguiente cuadro se muestra la energía consumida en las zonas comunes del conjunto residencial, datos que fueron tomados con el electricista del conjunto.

DISPOSITIVO	WATT	AHORRO EN LED	#	POTENCIA W(watios)	TIEMPO (horas)	ENERGIA Wh
LUMINARIAS	28	10,00	17	170	12	2040
REFLECTORES	50	18,00	5	90	12	1080
LUMINARIAS (AHORRADORES)	65	23,00	6	138	4	552
CAMARAS DE VIGILANCIA	1		15	15	24	360
GRABADORA	22		1	22	4	88
BOMBILLO	20		1	20	4	80
MONITORES	60		1	60	24	1440
SALON SOCIAL	32		2	64	3	192
PORTERIA	23		1	23	12	276
MOTOBOMBA PISCINA	700		1	700	1	700
ADMINISTRACION	23		2	46	6	276
REFLECTORES PISCINA	30		3	90	4	360
MOTOR PUERTA				0		0
TOTAL				1438		7444

POTENCA INSTALADA				1438,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL DIA EN Wh				7444,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Wh				223320,00
ENERGIA TOTAL CONSUMIDA EN EL MES EN Kwh				223,32

El valor de consumo anterior no tiene en cuenta las perdidas localizadas de los componentes y equipos situados entre los generadores solares y la instalación eléctrica de las zonas comunes del conjunto, esto es, el regulador, las baterías y el inversor o convertidor de corriente.

A continuación se estiman unos rendimientos para cada componente, los cuales deben ser comprobados una vez se hayan seleccionado los modelos reales del sistema instalar.

- Rendimiento Regulador, $\eta_{Reg.} = 0.96$
- Rendimiento Baterías, $\eta_{Bat.} = 0.98$
- Rendimiento Inversor, $\eta_{Inv.} = 0.96$

Teniendo en cuenta los rendimientos anteriores se saca el consumo estimado diario:

$$E_{Rd} = \frac{7444 \text{ Wh/dia}}{0.903168} = 8242,10 \text{ Wh/dia}$$

También se puede expresar este consumo en Amperios hora día usando la siguiente expresión:

$$E_{Ahd} = \frac{8242,10 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 171,710 \text{ Ah/dia}$$

Es necesario conocer la potencia pico del sistema dado que con ella se harán la mayoría de los cálculos. Esto se hace de la siguiente manera:

$$W_{Sistema} = \frac{8242,10 \text{ A}}{4,21} = 1957,7432 \text{ W}$$

❖ Cantidad de paneles Definitivos

Se hace de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\#P = \frac{1957,7432 \text{ Wh}}{250 \text{ W}} = 7,8309 \approx 8$$

Paneles en serie:

$$P_{Serie} = \frac{48 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 2$$

Paneles en Paralelo:

$$P_P = \frac{8}{2} = 4$$

De lo anterior se puede ver que para satisfacer la demanda eléctrica de las zonas comunes del conjunto residencial se necesitan 8 paneles 4 ramales en paralelo con 2 paneles por ramal.

❖ Banco de Baterías

- **Capacidad del Banco de Baterías:**

$$C_{Bat.} = \frac{171,710 \text{ A} * 1}{0,80} = 214,6379 \text{ A}$$

Teniendo la capacidad del sistema de baterías se determina la cantidad de baterías necesarias para el sistema:

Baterías en Serie:

$$B_{serie} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4$$

Baterías en Paralelo:

$$B_{\text{paralelo}} = \frac{214,6379 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah}} = 1,0731 \approx 2$$

El número de baterías necesarias para el sistema propuesto es de 8 baterías, este valor se obtiene de multiplicar el número de baterías en serie por el número de baterías en paralelo.

❖ Regulador de Carga

Para dimensionar el regulador de carga del sistema propuesto se calcula la corriente del panel y la corriente de carga.

$$I_{\text{panel}} = 9.2 \text{ A} * 4 = 36,8 \text{ A}$$

$$I_{\text{carga}} = 1,25 * \frac{1438 \text{ W}}{48\text{V}} = 37,44 \text{ A}$$

Para este sistema se recomienda un regulador MPPT que debe soportar una corriente de 38 A.

❖ Inversor

En cuanto a la potencia nominal que debe tener el inversor, este debe satisfacer la potencia máxima instalada

$$W_{\text{inversor}} = 1438 \text{ W}$$

Para este sistema se recomienda un inversor PWM con una capacidad de 1438 W.

❖ Costo Sistema Fotovoltaico

COTIZACION ELEMENTOS SISTEMA FOTOVOLTAICO				
ELEMENTO	CARACTERISTICAS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
PANEL SOLAR	250 W	8	\$ 686.070,00	\$ 5.488.560,00
BATERIAS	190A - 12V	8	\$ 853.000,00	\$ 6.824.000,00
REGULADOR	40A- 12V/48V	1	\$ 1.001.080,00	\$ 1.001.080,00
INVERSOR	1500W - 24V	1	\$ 1.383.030,00	\$ 1.383.030,00
INSTALACION				\$ 1.469.667,00
TOTAL				\$ 16.166.337,00

Como se puede ver al cambiar la iluminación por LED los costos bajan considerablemente pues al bajar el consumo de energía baja el costo de la factura al igual que el costo del sistema fotovoltaico.

COMPARACIÓN

CONJUNTO	CONSUMO kWh/mes	VALOR PAGADO	COSTO DE LA INVERSION	TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION
PORTAL DEL SOL	528	\$ 236.460	\$ 27.389.560,00	10 años
PORTAL DEL SOL LED	223	\$ 100.840,6	\$ 16.166.337,00	10 años
SANTA CLARA DE LA VILLAS	4953	\$ 2.158.562	\$ 244.705.505,00	10 años
SANTA CLARA DE LA VILLAS LED	1971,43	\$ 965.970	\$ 101.649.597,50	10 años
CAMINOS DE CANAAN	1075	\$ 456.479	\$ 49.691.431,25	10 años
CAMINOS DE CANAAN LED	540	\$ 278.412	\$ 27.157.966,00	10 años

Con este cuadro comparativo se puede ver que el tiempo de recuperación de la inversión es de 10 años para todos los conjuntos escogidos

12. ANALISIS FINANCIERO

En esta parte del proyecto se trataran los principales aspectos que inciden en la inversión de sistemas fotovoltaicos para las zonas comunes de os conjuntos residenciales escogidos así como los criterios para su evaluación e indicadores financieros.

12.1. INVERSIONES DEL PROYECTO

Son los recursos invertidos al inicio del proyecto y durante la marcha del mismo, se empezará a recibir ingresos una vez recuperadas estas inversiones.

12.1.1. Inversión Inicial

Para proyectos de generación de energía fotovoltaica la inversión inicial está compuesta por los elementos que la componen que son: Paneles solares, baterías, reguladores, inversores y las obras civiles necesarias para poner en marcha el sistema.

12.1.2. Paneles Solares y Baterías

Para calcular la inversión en paneles y baterías que necesita el sistema propuesto para cada conjunto residencial se toma la cantidad de paneles y baterías que se necesitan y se multiplica por el valor unitario de cada uno.

Cuando se pasa de cierta cantidad se pueden recibir descuentos en la compra por parte del proveedor o intermediario, por lo tanto el valor unitario puede variar.

Este proyecto se trabajó teniendo en cuenta los precios en el exterior y sus posibles costos de importación, impuestos, aranceles y transporte; también teniendo en cuenta los precios de algunos proveedores locales.

12.1.3. Regulador de Carga

La inversión del regulador se hace teniendo en cuenta el valor en amperios, en el mercado los proveedores ofrecen el producto de acuerdo a su capacidad en amperios, teniendo esta información se busca el que se acomode al sistema que se está proponiendo.

12.1.4. Inversor

Para los inversores se tiene en cuenta el valor en vatios, lo que significa que para conseguir el inversor es necesario conocer la capacidad en vatios del sistema y de esta manera buscar en el mercado el que mejor se acomode al sistema propuesto.

12.1.5. Instalación y otros

En esta inversión se tiene en cuenta todo lo relacionado con la instalación como es el sitio donde van instalados los paneles en caso de tener que hacer una instalación especial, el cuarto donde van instaladas las baterías, reguladores e inversores además de todos los accesorios que son necesarios para su funcionamiento.

12.1.6. Precio Unitario de la Inversión Inicial

El precio unitario es el que se obtiene de dividir la cantidad total de la inversión sobre la carga a cubrir, normalmente se trabaja con la carga diaria la cual se utiliza para comparar diferentes inversiones como es el caso de este proyecto.

12.1.7. Inversiones durante la Marcha

Son las que se hacen cuando el proyecto está en marcha y están compuestas de los costos de administración, operación, reemplazo de equipos y mantenimiento. Los costos de operación no se tienen en cuenta puesto que no se necesita personal adicional en los conjuntos residenciales.

La vida útil de los sistemas fotovoltaicos esta entre los 30 y 40 años a excepción de las baterías que tienen una vida útil de 10 años máximo, teniendo esto claro la vida útil de un proyecto es de 20 años, por lo tanto solo se cambiarían las baterías a los 10 años de iniciado este.

12.2. INGRESOS

Los ingresos de este proyecto están representados por el dinero utilizado para el pago de la factura de la energía.

12.2.1. Precio de la Energía

Teniendo en cuenta que los conjuntos residenciales tienen un consumo relativamente bajo, las tarifas de energía son planas y están establecidas por la

empresa prestadora del servicio de energía. Sin embargo, los precios tienen una variación de acuerdo al estrato social en el cual se encuentre el conjunto.

Para los efectos de este trabajo los precios de las facturas son los siguientes:

Conjunto	Estrato	Valor kWh/mes
Portal del Sol	4	452,2
Santa Clara de las Villas	5	489,9843
Caminos de Canaan	6	461,5779

12.2.2. Evaluación de la Inversión

La inversión en un sistema fotovoltaico se debe evaluar de acuerdo a los criterios básicos de evaluación financiera. Esta evaluación nos permitirá establecer la viabilidad financiera del proyecto.

Los indicadores que vamos a tener en cuenta para este proyecto son los siguientes:

VPN (Valor Presente Neto)

TIR (Tasa Interna de Retorno)

VPN (Valor Presente Neto) este indicador nos permite saber el valor actual del proyecto teniendo en cuenta diferentes tiempos de financiación. Cuando el VPN es positivo el proyecto es financieramente viable en el tiempo proyectado.

En los proyectos de iluminación de alumbrado público en los tres conjuntos estudiados las proyecciones financieras tienen un resultado positivo en un plazo de diez años y lo más recomendable es cambiar todas las luminarias de los conjuntos a iluminación LED.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

TIR (Tasa Interna de Retorno): la tasa interna de retorno es la tasa de rentabilidad del proyecto y establece la viabilidad en los proyectos de inversión.

$$VPN = \frac{\sum R_t}{(1+i)^t} = 0$$

12.2.3. Indicadores

Teniendo en cuenta las tasas de inflación de los últimos 5 años y la proyección a los 5 años siguientes se proyectó una tasa de inflación anual del 6%, una tasa interna de oportunidad del 5.5% y el valor de la energía se obtiene del valor plano de las facturas actuales. Los flujos de efectivo de la operación están basados en los valores actuales de las facturas más la inflación proyectada.

Los cuadros siguientes muestran el valor presente neto y la tasa interna de retorno a 3, 5 y 10 años para los diferentes conjuntos. Como se puede observar en los tres casos las financiaciones a 5 y 3 años dan un valor presente neto negativo y una tasa interna de retorno negativo por lo tanto no son viables.

PORTAL DEL SOL

Tasa de Inflacion	6,00%	
Tasa de Interes	5,50%	
CALCULO VPN TIR		
Año	Ingresos	Valor Presente
0	-\$27.389.560,00	(\$27.389.560,00)
1	\$2.837.520,00	\$2.689.592,42
2	\$3.007.771,20	\$2.702.339,30
3	\$3.188.237,47	\$2.715.146,60
4	\$3.379.531,72	\$2.728.014,59
5	\$3.582.303,62	\$2.740.943,57
6	\$3.797.241,84	\$2.753.933,82
7	\$4.025.076,35	\$2.766.985,64
8	\$4.266.580,93	\$2.780.099,32
9	\$4.522.575,79	\$2.793.275,14
10	\$4.793.930,34	\$2.806.513,41
VALOR PRESENTE NETO		\$87.283,81
		\$87.283,81
TIR		5,5606%

PORTAL DEL SOL

Tasa de Infla	6,00%	
Tasa de Inter	5,50%	
CALCULO VPN TIR		
Año	Ingresos	Valor Presente
0	-\$27.389.560,00	(\$27.389.560,00)
1	\$2.837.520,00	\$2.689.592,42
2	\$3.007.771,20	\$2.702.339,30
3	\$3.188.237,47	\$2.715.146,60
4	\$3.379.531,72	\$2.728.014,59
5		
6		
7		
8		
9		
10		
VALOR PRESENTE NETO		(\$16.554.467,10)
		(\$16.554.467,10)
TIR		-25,0195%

PORTAL DEL SOL

Tasa de Inflacion	6,00%	
Tasa de Interes	5,50%	
CALCULO VPN TIR		
Año	Ingresos	Valor Presente
0	-\$27.389.560,00	(\$27.389.560,00)
1	\$2.837.520,00	\$2.689.592,42
2	\$3.007.771,20	\$2.702.339,30
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
VALOR PRESENTE NETO		(\$21.997.628,28)
		(\$21.997.628,28)
TIR		-61,2794%

PORTAL DEL SOL

Tasa de Inflacion	6,00%	
Tasa de Interes	5,50%	
CALCULO VPN TIR		
Año	Ingresos	Valor Presente
0	-\$16.166.337,00	(\$16.166.337,00)
1	\$2.837.520,00	\$2.689.592,42
2	\$3.007.771,20	\$2.702.339,30
3	\$3.188.237,47	\$2.715.146,60
4	\$3.379.531,72	\$2.728.014,59
5	\$3.582.303,62	\$2.740.943,57
6	\$3.797.241,84	\$2.753.933,82
7	\$4.025.076,35	\$2.766.985,64
8	\$4.266.580,93	\$2.780.099,32
9	\$4.522.575,79	\$2.793.275,14
10	\$4.793.930,34	\$2.806.513,41
VALOR PRESENTE NETO		\$11.310.506,81
		\$11.310.506,81
TIR		17,0289%

PORTAL DEL SOL

Tasa de Infla	6,00%	
Tasa de Inter	5,50%	
CALCULO VPN TIR		
Año	Ingresos	Valor Presente
0	-\$16.166.337,00	(\$16.166.337,00)
1	\$2.837.520,00	\$2.689.592,42
2	\$3.007.771,20	\$2.702.339,30
3	\$3.188.237,47	\$2.715.146,60
4	\$3.379.531,72	\$2.728.014,59
5		
6		
7		
8		
9		
10		
VALOR PRESENTE NETO		(\$5.331.244,10)
		(\$5.331.244,10)
TIR		-9,5398%

PORTAL DEL SOL

Tasa de Inflacion	6,00%	
Tasa de Interes	5,50%	
CALCULO VPN TIR		
Año	Ingresos	Valor Presente
0	-\$16.166.337,00	(\$16.166.337,00)
1	\$2.837.520,00	\$2.689.592,42
2	\$3.007.771,20	\$2.702.339,30
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
VALOR PRESENTE NETO		(\$10.774.405,28)
		(\$10.774.405,28)
TIR		-47,2066%

SANTA CLARA DE LAS VILLAS

Tasa de Inflacion	6,00%		Tasa de Inflacion	6,00%		Tasa de Inflacion	6,00%	
Tasa de Interes	5,50%		Tasa de Interes	5,50%		Tasa de Interes	5,50%	
CALCULO VPN TIR			CALCULO VPN TIR			CALCULO VPN TIR		
Año	Ingresos	Valor Presente	Año	Ingresos	Valor Presente	Año	Ingresos	Valor Presente
0	-\$244.705.505,00	(\$244.705.505,00)	0	-\$244.705.505,00	(\$244.705.505,00)	0	-\$244.705.505,00	(\$244.705.505,00)
1	\$16.350.996,00	\$15.498.574,41	1	\$16.350.996,00	\$15.498.574,41	1	\$16.350.996,00	\$15.498.574,41
2	\$17.332.055,76	\$15.572.027,37	2	\$17.332.055,76	\$15.572.027,37	2	\$17.332.055,76	\$15.572.027,37
3	\$18.371.979,11	\$15.645.828,44	3	\$18.371.979,11	\$15.645.828,44	3	\$17.332.055,76	\$15.572.027,37
4	\$19.474.297,85	\$15.719.979,29	4	\$19.474.297,85	\$15.719.979,29	4		
5	\$20.642.755,72	\$15.794.481,56	5			5		
6	\$21.881.321,07	\$15.869.336,92	6			6		
7	\$23.194.200,33	\$15.944.547,05	7			7		
8	\$24.585.852,35	\$16.020.113,63	8			8		
9	\$26.061.003,49	\$16.096.038,33	9			9		
10	\$27.624.663,70	\$16.172.322,88	10			10		
VALOR PRESENTE NETO		(\$86.372.255,12)	VALOR PRESENTE NETO		(\$182.269.095,49)	VALOR PRESENTE NETO		(\$213.634.903,23)
TIR		-2,0731%	TIR		-35,2196%	TIR		-69,8366%

SANTA CLARA DE LAS VILLAS LED

SANTA CLARA DE LAS VILLAS LED								
Tasa de Inflacion	6,00%		Tasa de Inflacion	6,00%		Tasa de Inflacion	6,00%	
Tasa de Interes	5,50%		Tasa de Interes	5,50%		Tasa de Interes	5,50%	
CALCULO VPN TIR			CALCULO VPN TIR			CALCULO VPN TIR		
Año	Ingresos	Valor Presente	Año	Ingresos	Valor Presente	Año	Ingresos	Valor Presente
0	-\$101.649.597,50	(\$101.649.597,50)	0	-\$101.649.597,50	(\$101.649.597,50)	0	-\$101.649.597,50	(\$101.649.597,50)
1	\$16.350.996,00	\$15.498.574,41	1	\$16.350.996,00	\$15.498.574,41	1	\$16.350.996,00	\$15.498.574,41
2	\$17.332.055,76	\$15.572.027,37	2	\$17.332.055,76	\$15.572.027,37	2	\$17.332.055,76	\$15.572.027,37
3	\$18.371.979,11	\$15.645.828,44	3	\$18.371.979,11	\$15.645.828,44	3		
4	\$19.474.297,85	\$15.719.979,29	4	\$19.474.297,85	\$15.719.979,29	4		
5	\$20.642.755,72	\$15.794.481,56	5			5		
6	\$21.881.321,07	\$15.869.336,92	6			6		
7	\$23.194.200,33	\$15.944.547,05	7			7		
8	\$24.585.852,35	\$16.020.113,63	8			8		
9	\$26.061.003,49	\$16.096.038,33	9			9		
10	\$27.624.663,70	\$16.172.322,88	10			10		
VALOR PRESENTE NETO		\$56.683.652,38	VALOR PRESENTE NETO		(\$39.213.187,99)	VALOR PRESENTE NETO		(\$70.578.995,73)
TIR		14,9075%	TIR		-12,3990%	TIR		-49,8886%

BOSQUES DE CANAAN

Tasa de Inflacion	6,00%		Tasa de Inflacion	6,00%		Tasa de Inflacion	6,00%	
Tasa de Interes	5,50%		Tasa de Interes	5,50%		Tasa de Interes	5,50%	
CALCULO VPN TIR			CALCULO VPN TIR			CALCULO VPN TIR		
Año	Ingresos	Valor Presente	Año	Ingresos	Valor Presente	Año	Ingresos	Valor Presente
0	-\$49.691.431,25	(\$49.691.431,25)	0	-\$49.691.431,25	(\$49.691.431,25)	0	-\$49.691.431,25	(\$49.691.431,25)
1	\$5.477.748,00	\$5.192.178,20	1	\$5.477.748,00	\$5.192.178,20	1	\$5.477.748,00	\$5.192.178,20
2	\$5.806.412,88	\$5.216.785,68	2	\$5.806.412,88	\$5.216.785,68	2	\$5.806.412,88	\$5.216.785,68
3	\$6.154.797,65	\$5.241.509,78	3	\$6.154.797,65	\$5.241.509,78	3		
4	\$6.524.085,51	\$5.266.351,06	4	\$6.524.085,51	\$5.266.351,06	4		
5	\$6.915.530,64	\$5.291.310,07	5			5		
6	\$7.330.462,48	\$5.316.387,37	6			6		
7	\$7.770.290,23	\$5.341.583,52	7			7		
8	\$8.236.507,64	\$5.366.899,08	8			8		
9	\$8.730.698,10	\$5.392.334,62	9			9		
10	\$9.254.539,99	\$5.417.890,71	10			10		
VALOR PRESENTE NETO		\$3.351.798,83	VALOR PRESENTE NETO		(\$28.774.606,53)	VALOR PRESENTE NETO		(\$39.282.467,37)
TIR		6,7619%	TIR		-23,4004%	TIR		-59,8635%

BOSQUES DE CANAAN LED

BOSQUES DE CANAAN LED									
Tasa de Inflacion	6,00%		Tasa de Inflacion	6,00%		Tasa de Inflacion	6,00%		
Tasa de Interes	5,50%		Tasa de Interes	3,79%		Tasa de Interes	3,79%		
CALCULO VPN TIR			CALCULO VPN TIR			CALCULO VPN TIR			
Año	Ingresos	Valor Presente	Año	Ingresos	Valor Presente	Año	Ingresos	Valor Presente	
0	-\$27.157.966,00	(\$27.157.966,00)	0	-\$27.157.966,00	(\$27.157.966,00)	0	-\$27.157.966,00	(\$27.157.966,00)	
1	\$3.340.944,00	\$3.166.771,56	1	\$3.340.944,00	\$3.166.771,56	1	\$3.340.944,00	\$3.166.771,56	
2	\$3.541.400,64	\$3.181.779,96	2	\$3.541.400,64	\$3.181.779,96	2	\$3.541.400,64	\$3.181.779,96	
3	\$3.753.884,68	\$3.196.859,49	3	\$3.753.884,68	\$3.196.859,49	3			
4	\$3.979.117,76	\$3.212.010,48	4	\$3.979.117,76	\$3.212.010,48	4			
5	\$4.217.864,82	\$3.227.233,28	5			5			
6	\$4.470.936,71	\$3.242.528,22	6			6			
7	\$4.739.192,92	\$3.257.895,65	7			7			
8	\$5.023.544,49	\$3.273.335,92	8			8			
9	\$5.324.957,16	\$3.288.849,36	9			9			
10	\$5.644.454,59	\$3.304.436,32	10			10			
VALOR PRESENTE NETO		\$5.193.734,24	VALOR PRESENTE NETO		(\$14.400.544,51)	VALOR PRESENTE NETO		(\$20.809.414,48)	
		\$5.193.734,24			(\$13.865.908,56)			(\$20.651.778,44)	
TIR		8,9713%	TIR		-20,4178%	TIR		-57,2180%	

12. CONCLUSIONES

Los sistemas fotovoltaicos empiezan a popularizarse debido a la disminución de costos y a la mayor comercialización y disponibilidad de productos en el mercado. Los productos cada vez son de mejor calidad y eficiencia permitiendo sistemas más estables, rentables y productivos.

Desarrollando este trabajo encontramos que las tecnologías de iluminación son muy experimentales y el mercado está lleno de productos con bajas especificaciones técnicas a pesar de las exigencias del RETILAP.

La depreciación del peso frente al dólar y otras monedas internacionales modificaron considerablemente los indicadores financieros llevando estas soluciones a un nivel de poca rentabilidad o negativa.

En Colombia existe potencial para el desarrollo de energías renovables no convencionales, sin embargo, la estructura regulatoria actual hace que la diferencia en rentabilidad entre estas tecnologías y las convencionales se incremente, dificultando su entrada en el mercado.

Uno de los principales problemas de las energías renovables en Colombia es que los sitios en que hay abundancia de los recursos naturales (viento, energía solar, fuertes caídas de agua, actividad volcánica) se encuentran en zonas de reserva natural o de propiedad indígena o afrocolombiana. La falta de claridad en la legislación sobre los procesos de la consulta previa pueden dificultar y hacer más costoso el desarrollo de estas tecnologías. Esto no es un problema para la instalación de plantas térmicas, que en ese sentido tienen la versatilidad para ser instaladas en cualquier sitio.

13. BIBLIOGRAFÍA

(Célula, 2016). Célula Fotoeléctrica.

Disponible:(<http://es.wikipedia.org/wiki/Célula_foteléctrica>). Citado: abril 2016

(CONALUE, 2016). COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA. “Descripción de los Sistemas Fotovoltaicos Aislados y sus Componentes”. Internet: (<<http://www.conae.gob.mx/programas/sfv/composfv2.doc>>). Consultado: junio 2016.

(ICONTEC NTC 2050).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Código Eléctrico Colombiano. Primera Actualización. Bogotá: ICONTEC, 1998. 797p. NTC 2050.

PAGINAS CONSULTADAS PARA LA ELABORACION DE ESTE PROYECTO

<http://twenergy.com/co/a/colombia-una-mina-en-energias-alternativas-1835>

<http://twenergy.com/co/a/la-energia-solar-en-colombia-916>

<http://twenergy.com/co/a/breve-guia-para-entender-la-generacion-de-energia-en-colombia-2057>

<http://www.dinero.com/pais/articulo/costos-energia-colombia/212216>

<http://www.autoconsumamos.com/dimensionado-instalacion-fotovoltaica-aislada-metodo-del-mes-mas-desfavorable/>

<http://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo/>

<http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/uruguay-consume-100-por-ciento-energias-renovables/16588784>

<http://www.solener.com/pregunta.html>

<http://www.americafotovoltaica.com/simulador-online/>

http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portalenergia/pla_eficiencia_energetica/enllumenat_2.es.html

<http://www.iluminet.com/luminarios-para-alumbrado-publico-de-vialidades-con-lamparas-de-induccion-electromagnetica/>

<http://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo/#tab-65a6c690744302ec90a>